Progetto "Data Center ML10x del Comune di Settimo Milanese (già ML10 e ML11)" - Studio di impatto ambientale

Allegato 17 - Relazione pedologica - Valutazione degli impatti sul suolo e sulle sue funzioni ecologiche

PREPARATA PER

Equinix Hyperscale 2 (ML10) S.r.l.

DATA
Settembre 2026

RIFERIMENTO
0764977

INFORMAZIONI DOCUMENTO

TITOLO	**Progetto "Data Center ML10x nel Comune di Settimo Milanese (già ML10 e ML11)" – Studio di Impatto Ambientale**
SOTTOTITOLO	Allegato 17 - Relazione pedologica - Valutazione degli impatti sul suolo e sulle sue funzioni ecologiche
NUMERO DI PROGETTO	0764977
Data	Settembre 2026
Versione	Final
Autore	STUDIO LANDSCAPE srl - Marco Giorgetti Dottore agronomo
Cliente	Equinix Hyperscale 2 (ML10) S.r.l.

CRONOLOGIA REVISIONI

				APPROVAZIONE ERM		
VERSIONE	REVISIONE	AUTORE	RIVISTO DA	NOME	DATA	COMMENTI
Final	000	Marco Giorgetti	Chiara Samale	Marco Miori	Settembre 2026	

PAGINA DELLE FIRME

Progetto "Data Center ML10x del Comune di Settimo Milanese (già ML10 e ML11)" - Studio di impatto ambientale

Allegato 17 - Relazione pedologica - Valutazione degli impatti sul suolo e sulle sue funzioni ecologiche

0764977

Marco Miori
Partner

Chiara Samale
Project Manager

GIORGETTI MAR
2026.09.11 09:20:49
Signer:
CN=GIORGETTI MARCO
C=IT
O=CONAF
2.5.4.11=N. iscr. 160
Public key:
RSA/2048 bits

ORDINE DOTTORI AGRONOMI E FORESTALI
N° 160
Dr.
MARCO
GIORGETTI
VARESE

Jacopo Signorini
Project Director

Marco Giorgetti
Author

ERM Italia S.p.A.
Via San Gregorio, 38
20124 Milano - Italia
Tel: +39 02 674401

© Copyright 2026 by The ERM International Group Limited and/or its affiliates ('ERM'). All Rights Reserved.
No part of this work may be reproduced or transmitted in any form or by any means, without prior written permission of ERM.

INDICE

1.	INTRODUZIONE	1
2.	SUPERFICI INTERESSATE DALL'INTERVENTO	3
2.1	SOTTRAZIONE DEFINITIVA DI SUOLO	3
2.2	AREE SOGGETTE AD ALTERAZIONE TEMPORANEA	6
2.3	AREE DESTINATE ALLE OPERE DI MITIGAZIONE POST OPERAM	9
2.4	ULTERIORI AREE (COMPENSAZIONE)	10
3.	QUANTIFICAZIONE DEL NUOVO CONSUMO DI SUOLO SECONDO ISPRA (2024)	12
3.1	CONFRONTO DEL CONSUMO DI SUOLO A SCALA REGIONALE, PROVINCIALE	13
3.1.1	Superfici di riferimento	13
3.1.2	Interpretazione	14
4.	VALUTAZIONE PEDOLOGICA E SERVIZI ECOSISTEMICI	15
4.1	INQUADRAMENTO PEDOLOGICO	15
4.1.1	Pedopaesaggio del livello fondamentale della pianura (L)	16
4.1.2	Pedopaesaggio delle valli fluviali dei corsi d'acqua olocenici (V)	17
4.2	APPROFONDIMENTI	18
4.2.1	Tipi di suolo	20
4.2.2	Ulteriori approfondimenti	25
4.2.3	Conclusioni	30
4.3	SERVIZI ECOSISTEMICI PERSI O COMPROMESSI	30
4.4	PATRIMONIO AGROALIMENTARE E VOCAZIONE AGRICOLA ANTE OPERAM	34
4.5	SUOLO OBIETTIVO E MODALITÀ OPERATIVE DI RICOSTITUZIONE	34
5.	MISURE DI MITIGAZIONE E COMPENSAZIONE	38
5.1	MITIGAZIONE (3.955 M²)	38
5.2	COMPENSAZIONE (18.848 M²)	39
5.3	MONITORAGGIO PEDOLOGICO ED ECOSISTEMICO	40
6.	BILANCIO DEI SERVIZI ECOSISTEMICI	42
6.1	TABELLA ANALITICA DEI SERVIZI ECOSISTEMICI – CONFRONTO ANTE/POST OPERAM	43
6.2	APPROFONDIMENTO QUANTITATIVO	46
6.2.1	Stima dello stock di carbonio	46
6.2.2	Valutazione quantitativa della capacità idrologica	52
6.2.3	Biodiversità - indici ecologici	54
6.2.4	Protezione dall'erosione	57
6.2.5	Valori culturali e paesaggistici	59
6.2.6	Valutazione quantitativa della capacità produttiva agricola	60
6.3	SINTESI: BILANCIO ECOSISTEMICO COMPLESSIVO	62

7. CONCLUSIONI 65

8. RIFERIMENTO / BIBLIOGRAFIA 69

ELENCO DELLE TABELLE NEL TESTO

TABELLA 1: CONSUMO DI SUOLO 12

TABELLA 2: CONFRONTO PERCENTUALE DEL CONSUMO DI SUOLO 13

ELENCO DELLE FIGURE NEL TESTO

FIGURA 1: AREA OGGETTO DI ASPORTAZIONE DEFINITIVA DI SUOLO. BASEMAP: GOOGLE SATELLITE. 4

FIGURA 2: AREE PERMEABILI E IMPERMEABILI ANTE OPERAM. BASEMAP: ORTOFOTO 2003. FONTE: GEOPORTALE REGIONE LOMBARDIA. 5

FIGURA 3: AREE DI CANTIERE. BASEMAP: GOOGLE SATELLITE. 7

FIGURA 4: AREE PERMEABILI E IMPERMEABILI POST OPERAM. BASEMAP: GOOGLE SATELLITE. 8

FIGURA 5: AREA DI MITIGAZIONE. BASEMAP: GOOGLE SATELLITE. 9

FIGURA 6: AREE DI COMPENSAZIONE FONTANILE CAGAPES. BASEMAP: GOOGLE SATELLITE. 11

FIGURA 7: ESTRATTO ECOATLANTE – SUOLO CONSUMATO 2023 13

FIGURA 8: LIVELLO FONDAMENTALE DELLA PIANURA (L) 15

FIGURA 9: VALLI FLUVIALI (V) 16

FIGURA 10: CARTA PEDOLOGICA 250K – DISTRETTI. GEOPORTALE REGIONE LOMBARDIA 18

FIGURA 11: CARTA PEDOLOGICA 50K – U.C. GEOPORTALE REGIONE LOMBARDIA 19

FIGURA 12: ESTRATTO VALORE NATURALISTICO DEI SUOLI 22

FIGURA 13: PROFILO RAPPRESENTATIVO DELLA SERIE CIC 1 P14/18 25

FIGURA 14: PROFILO ICONOGRAFICO CIC1 27

FIGURA 15: PROFILO ICONOGRAFICO ZIT1 29

FIGURA 16: SCHEMA CONCETTUALE DEL SUOLO OBIETTIVO PER AREE A VERDE E MITIGAZIONE. IL PROFILO RICOSTITUITO INDIVIDUA GLI STRATI FUNZIONALI NECESSARI A GARANTIRE CONTINUITÀ PEDOLOGICA, IDROLOGICA ED ECOSISTEMICA CON IL CONTESTO LOCALE, SECONDO L'APPROCCIO DELLE LINEE GUIDA ISPRA 65.2/2010. 37

1. INTRODUZIONE

Il presente documento è stato predisposto in ottemperanza alle richieste di integrazione formulate dalle Autorità competenti nell'ambito del procedimento di Valutazione di Impatto Ambientale (VIA) ai sensi dell'art. 23 del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i., relative al progetto "Data Center ML10x nel Comune di Settimo Milanese (MI)", proposto da Equinix Hyperscale 2 (ML10) S.r.l.. Il progetto era precedentemente indicato come "Data Center ML10 e ML11" e ha assunto l'attuale configurazione e denominazione a seguito di una modifica del layout progettuale oggetto del presente studio.

In particolare, il documento, che costituisce un allegato del SIA ex-novo rispetto a quanto presentato in prima istanza, risponde alle richieste di documentazione integrativa formulate dal Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE) con nota del 15/05/2026, prot. n. 0104129, con specifico riferimento alle richieste numero:

7.1 – "Dal momento che gli interventi sembrano interferire in parte con suolo libero, si chiede di rappresentare e quantificare le aree permeabili/impermeabili ante operam (prendendo come riferimento il DUSAF 7.0. nonché eventuali altre fonti che riportino la situazione ante titolo edilizio) e post operam e le aree interferite temporaneamente dai cantieri chiarendo se saranno oggetto di ripristino; in seguito mettere a confronto le quantità analizzate."

7.2 – "Rispetto alle aree permeabili ante operam, valutare le funzioni ecosistemiche che verranno perse con la realizzazione dell'opera e proporre soluzioni in grado compensare tale perdita (piantumazioni, pareti verdi, uso di materiali edilizi in grado di contrastare il fenomeno dell'isola di calore, ecc.)."

18.3 "Suolo: in relazione al tipo di interventi di compensazione che saranno individuati, dovrà essere effettuato un monitoraggio pedologico ed ecosistemico, secondo le seguenti indicazioni generali. In caso di reperimento di aree da de-pavimentare (soluzione da privilegiare) o ripristino della "salute del suolo" in ambiti degradati, si chiede di adottare lo strumento "suolo obiettivo" (Linee Guida ISPRA 65.2/2010). Il Proponente dovrà presentare della documentazione fotografica georeferenziata, in modo modo tale da essere ripetuti negli anni successivi, e scelti in modo da rappresentare adeguatamente la variabilità delle aree dal punto di vista morfologico, pedologico ed ecosistemico."

La presente relazione tecnica costituisce un'integrazione allo Studio di Impatto Ambientale (SIA) già presentato per il progetto in esame e nasce dall'esigenza di approfondire alcuni aspetti specifici evidenziati dagli enti competenti nel corso dell'istruttoria. Le richieste di chiarimento e integrazione hanno riguardato, in particolare, la necessità di ampliare la valutazione degli impatti sul suolo e sulle sue funzioni ecologiche (considerando un'area di compensazione), di quantificare in modo puntuale il nuovo consumo di suolo secondo i criteri definiti da ISPRA, prendendo spunto dai diversi rapporti prodotti all'Istituto, in particolare dal Rapporto 2024, e di descrivere con maggiore dettaglio le tipologie pedologiche interessate dall'intervento, con riferimento alla loro capacità biologica, agronomica ed ecosistemica.

In risposta a tali richieste, il presente documento sviluppa un'analisi estesa e metodologicamente strutturata, con l'obiettivo di restituire un quadro conoscitivo completo e aggiornato dell'assetto territoriale, delle dinamiche ecologiche preesistenti e delle trasformazioni indotte dal progetto. L'approfondimento non si limita alla sola descrizione delle superfici interessate, ma affronta in

modo integrato il tema della funzionalità del suolo, della sua capacità di fornire servizi ecosistemici e delle variazioni qualitative e quantitative che derivano dalla realizzazione dell'intervento.

La valutazione viene sviluppata in coerenza con il quadro metodologico generale definito dalle Linee Guida SNPA 28/2020 per la redazione e valutazione degli Studi di Impatto Ambientale. L'impostazione adottata consente di esaminare il suolo non come un semplice supporto fisico alle attività antropiche, ma come una componente ambientale complessa e multifunzionale, in grado di regolare processi fondamentali quali il ciclo dell'acqua, il ciclo del carbonio, la biodiversità edafica, la stabilità paesaggistica e la produttività agricola.

In questo senso, l'integrazione presentata non ha un ruolo meramente descrittivo, ma intende fornire una valutazione strutturata e metodologicamente trasparente degli impatti diretti, indiretti e cumulativi associati all'intervento. L'analisi si estende quindi alla quantificazione delle superfici sottratte alle loro funzioni, alla distinzione tra aree di perdita permanente e aree soggette a disturbo temporaneo, alla caratterizzazione pedologica dei suoli coinvolti e alla stima dei servizi ecosistemici persi o alterati.

Particolare attenzione viene inoltre dedicata alle misure di mitigazione e compensazione previste, valutate non solo in termini di estensione superficiale, ma soprattutto in relazione alla loro capacità effettiva di ricostituire — nel medio-lungo periodo — le funzioni ecologiche compromesse. Il documento analizza quindi il ruolo delle fasce verdi, delle aree di riequilibrio ecologico e degli interventi di compensazione previsti presso il Fontanile Cagapes, interpretandoli come elementi finalizzati al recupero e al potenziamento delle funzioni ecosistemiche compromesse.

2. SUPERFICI INTERESSATE DALL'INTERVENTO

La valutazione delle superfici soggette a trasformazione costituisce un elemento essenziale per comprendere la portata dell'intervento e l'entità degli impatti sul sistema pedologico e sui servizi ecosistemici. Le superfici sono state analizzate distinguendo tra aree soggette a sottrazione definitiva di suolo, aree interessate da alterazioni temporanee connesse alla fase di cantiere, superfici destinate alle opere di mitigazione post operam e aree esterne interessate dagli interventi di compensazione.

2.1 SOTTRAZIONE DEFINITIVA DI SUOLO

Esse comprendono le aree destinate alla realizzazione delle nuove strutture, delle infrastrutture di servizio e delle superfici impermeabilizzate.

La sottrazione definitiva del suolo comporta una perdita irreversibile della sua funzionalità ecologica. In particolare, risultano compromesse:

- la capacità di infiltrazione e laminazione delle acque meteoriche;
- la funzione di stoccaggio del carbonio, strettamente connessa alla presenza di sostanza organica e alla stabilità della struttura del suolo;
- la funzione di supporto alla biodiversità, sia a livello microbico sia a livello vegetale e faunistico;
- la protezione dall'erosione e la stabilità della superficie;
- la funzione produttiva agricola.

La planimetria allegata evidenzia nel dettaglio l'esatta collocazione delle superfici permanenti, distinguendole dagli altri ambiti funzionali.

FIGURA 1: AREA OGGETTO DI ASPORTAZIONE DEFINITIVA DI SUOLO. BASEMAP: GOOGLE SATELLITE.

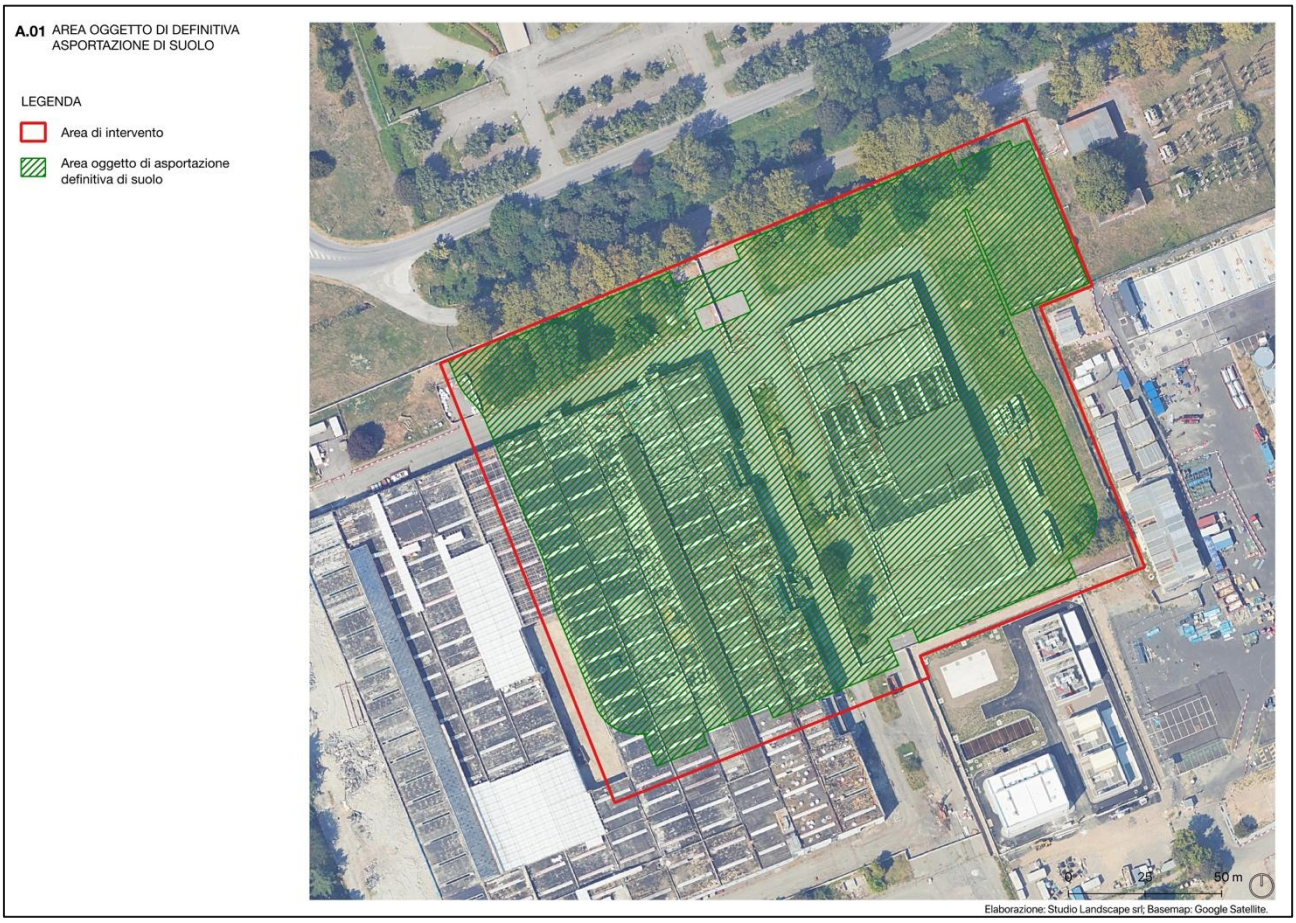
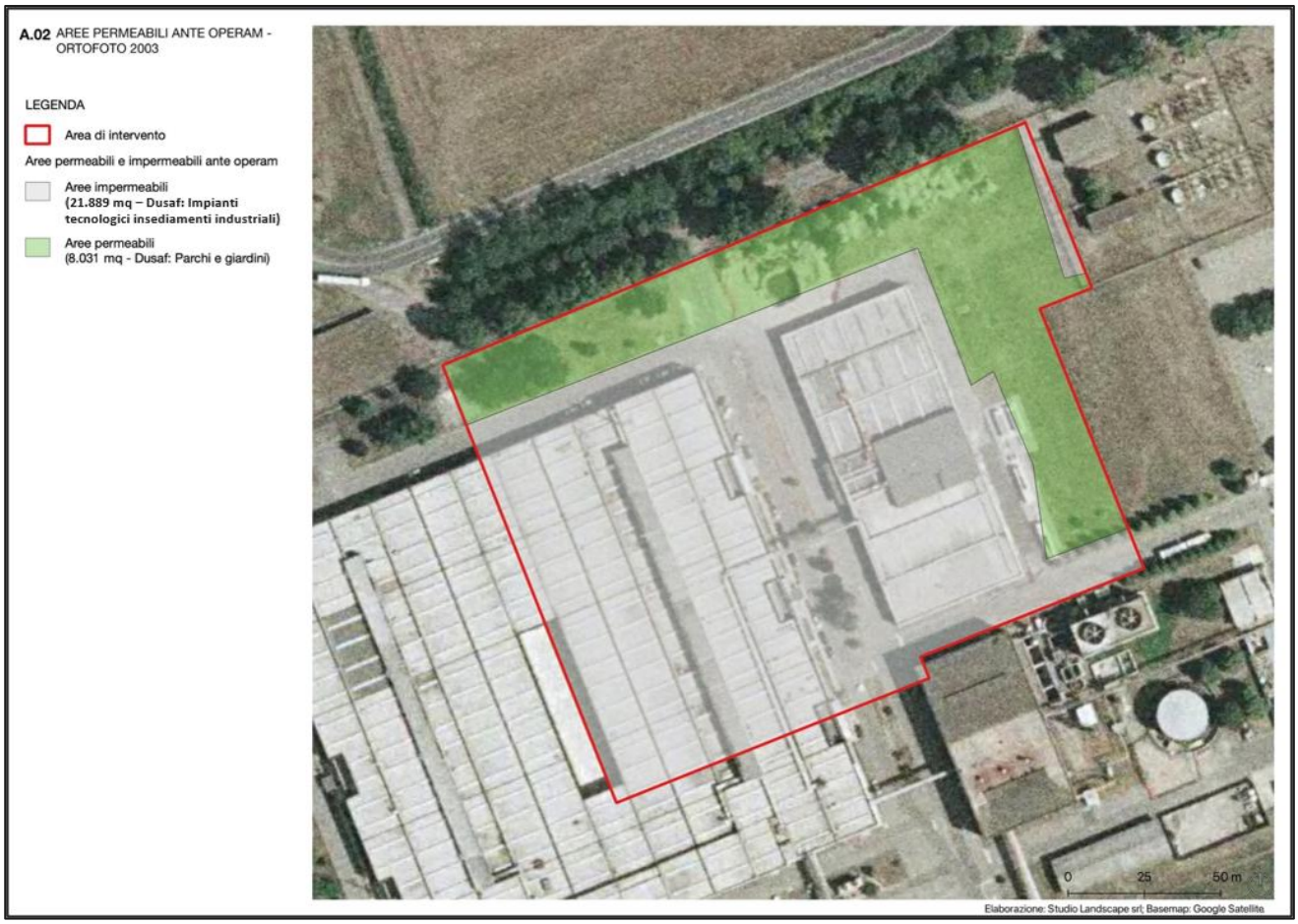


FIGURA 2: AREE PERMEABILI E IMPERMEABILI ANTE OPERAM. BASEMAP: ORTOFOTO 2003. FONTE: GEOPORTALE REGIONE LOMBARDIA.



2.2 AREE SOGGETTE AD ALTERAZIONE TEMPORANEA

Oltre alle superfici interessate da trasformazioni permanenti, la fase di realizzazione dell'intervento comporterà l'occupazione temporanea di ulteriori porzioni di suolo necessarie all'organizzazione e alla gestione del cantiere. Tali superfici saranno utilizzate esclusivamente per la durata delle lavorazioni e, al termine delle attività, saranno oggetto di ripristino pedologico e vegetazionale.

Sulla base della planimetria di cantierizzazione trasmessa e della successiva restituzione cartografica delle superfici effettivamente interessate, sono stati individuati diversi ambiti destinati alle attività temporanee di cantiere, localizzati in parte all'interno e in parte all'esterno del perimetro dell'area oggetto di intervento. La superficie complessiva interessata da occupazione temporanea risulta pari a 11.777 m², corrispondenti a circa 1,18 ha. Una quota delle superfici temporaneamente interessate dalle attività di cantiere ricade in corrispondenza delle aree che, nello scenario post operam, saranno destinate alle opere di mitigazione a verde. Per tali superfici l'interferenza assume pertanto carattere esclusivamente temporaneo: al termine delle lavorazioni saranno effettuate le necessarie operazioni di ripristino pedologico, propedeutiche alla successiva realizzazione delle sistemazioni vegetazionali previste dal progetto.

La configurazione logistica prevista comprende aree destinate al deposito e allo stoccaggio dei materiali, alla viabilità e alla movimentazione dei mezzi, nonché spazi di supporto alle attività operative. Nella porzione posta esternamente al perimetro principale di intervento sono inoltre previste superfici destinate agli uffici di cantiere, alle strutture di servizio e welfare per il personale e ai parcheggi. La planimetria funzionale individua, in particolare, circa 500 m² destinati agli uffici di cantiere, circa 1.500 m² destinati alle strutture di servizio per il personale e circa 2.400 m² destinati a parcheggio, oltre alle ulteriori superfici necessarie per lo stoccaggio, il transito e la logistica di cantiere.

Dal punto di vista pedologico, l'occupazione temporanea di tali superfici determina, per la sola durata delle lavorazioni, una parziale alterazione delle normali funzioni ecologiche del suolo, con particolare riferimento alla capacità di infiltrazione e regolazione delle acque meteoriche, agli scambi gassosi con l'atmosfera, all'attività biologica degli orizzonti superficiali e alla funzione di supporto alla vegetazione. Il transito e la sosta dei mezzi, così come la presenza di materiali e strutture provvisorie, possono inoltre determinare fenomeni di compattazione degli strati superficiali.

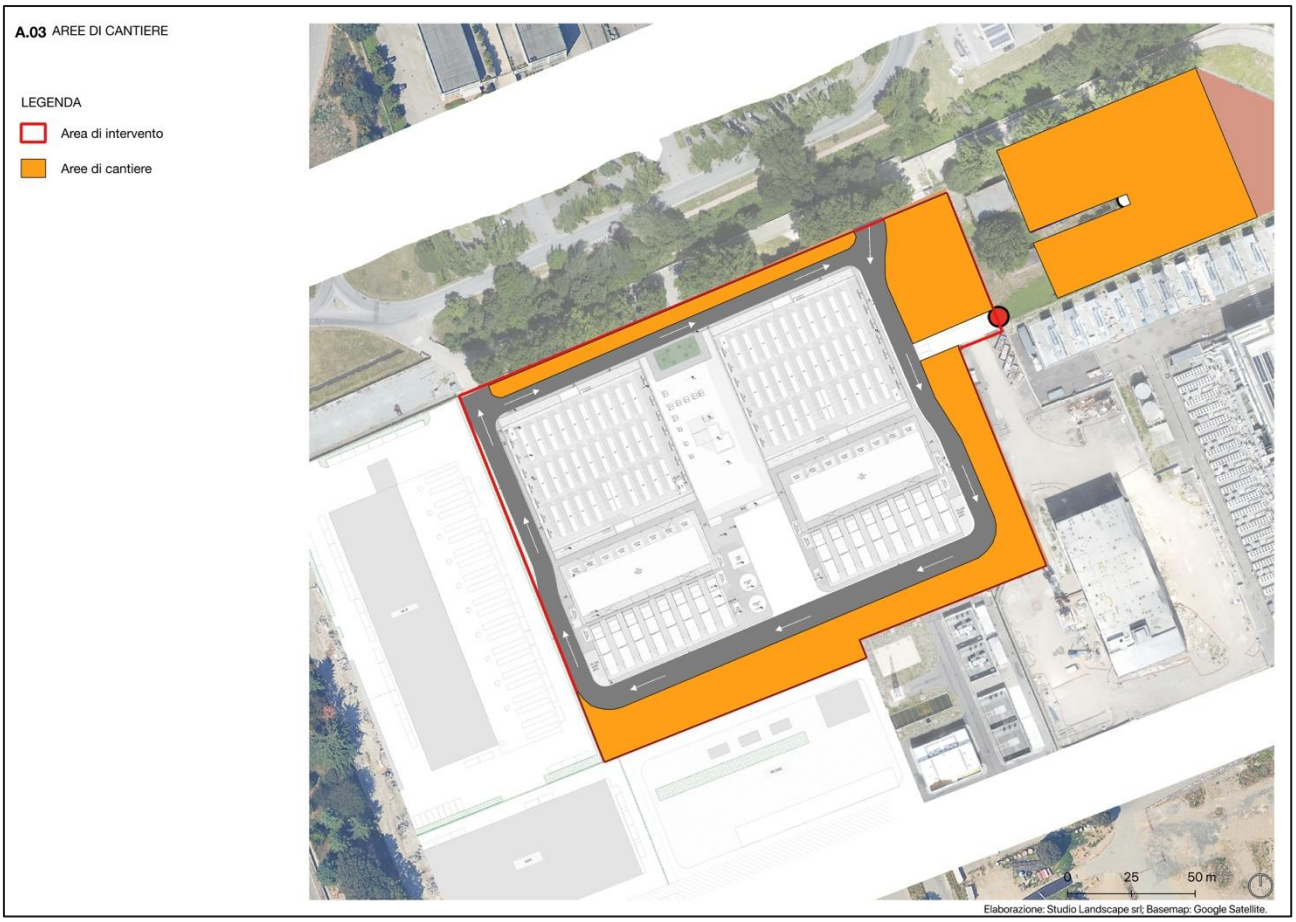
Particolare attenzione sarà pertanto rivolta alle aree di cantiere poste esternamente al perimetro di intervento, per le quali l'occupazione avrà carattere esclusivamente temporaneo. Prima dell'allestimento del cantiere, tali superfici saranno protette mediante la posa di un telo impermeabile di separazione, interposto tra il terreno naturale e gli eventuali materiali, apprestamenti o strutture temporanee sovrastanti. Tale accorgimento consentirà di ridurre il rischio di contaminazione e di commistione del terreno con materiali estranei, agevolando al contempo le successive operazioni di rimozione e ripristino.

Al termine dei lavori, tutte le strutture, i materiali e gli apprestamenti temporanei saranno integralmente rimossi, compreso il telo di protezione. Le superfici saranno avviate al recupero delle condizioni pedologiche e vegetazionali funzionali mediante la regolarizzazione del piano di

campagna e, ove necessario, la decompattazione degli strati superficiali, l'eventuale reintegro e ridistribuzione del terreno vegetale e la preparazione del letto di semina. Il ripristino sarà completato mediante la risemina delle superfici temporaneamente occupate, con idoneo miscuglio erbaceo, al fine di ricostituire la copertura vegetale e favorire il progressivo recupero delle principali funzioni ecologiche del suolo. Le lavorazioni di ripristino dovranno essere effettuate in condizioni di umidità del terreno compatibili con le operazioni previste, evitando interventi su suoli eccessivamente bagnati che possano determinare ulteriori fenomeni di costipamento o alterazione della struttura.

Nel complesso, l'utilizzo delle superfici esterne al perimetro di intervento determina pertanto un'alterazione temporanea e reversibile, non assimilabile a consumo permanente di suolo. Le misure di protezione preventiva e le successive operazioni di ripristino morfologico, pedologico e vegetazionale consentiranno di recuperare, al termine della fase di cantiere, la permeabilità, la copertura vegetale e le principali funzionalità ecologiche delle superfici interessate.

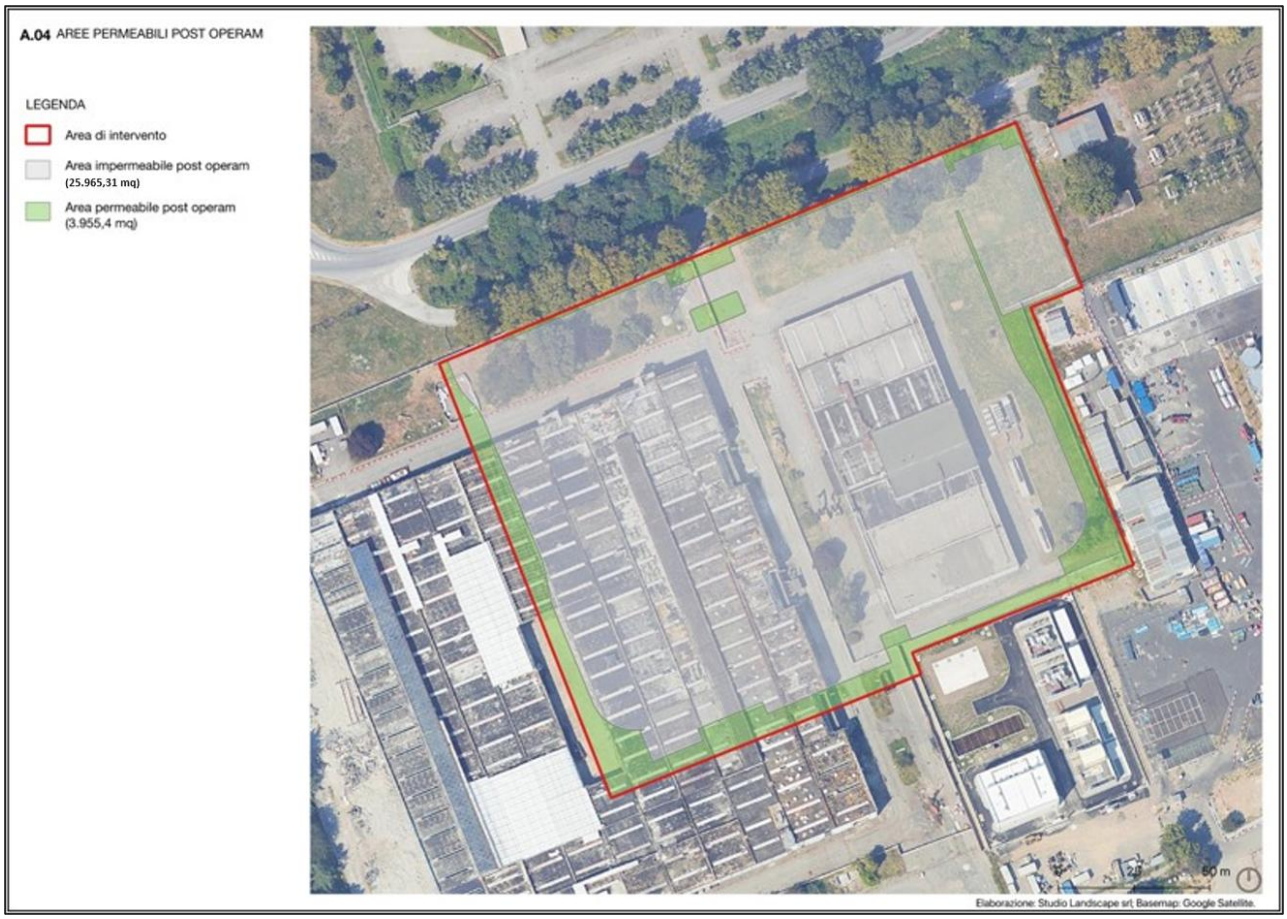
FIGURA 3: AREE DI CANTIERE. BASEMAP: GOOGLE SATELLITE.



Ai fini del bilancio quantitativo sviluppato nel paragrafo 5.2.1, le superfici interessate esclusivamente da occupazioni temporanee di cantiere non sono contabilizzate come perdita permanente del servizio di stoccaggio del carbonio. Gli eventuali effetti temporanei sulla funzionalità biologica e sul ciclo della sostanza organica sono considerati qualitativamente e saranno oggetto di progressivo recupero attraverso le operazioni di rimozione degli

apprestamenti, decompattazione, ricostituzione del terreno vegetale e rinverdimento delle superfici.

FIGURA 4: AREE PERMEABILI E IMPERMEABILI POST OPERAM. BASEMAP: GOOGLE SATELLITE.



2.3 AREE DESTINATE ALLE OPERE DI MITIGAZIONE POST OPERAM

Le superfici interne alla proprietà destinate alle opere di mitigazione post operam interessano complessivamente 3.955 m². Tali aree non sono interessate da trasformazioni permanenti o da nuova impermeabilizzazione; durante la fase di realizzazione dell'intervento potranno tuttavia essere temporaneamente coinvolte dalle attività di cantierizzazione, connesse alla movimentazione dei mezzi, alla logistica e alle lavorazioni necessarie alla realizzazione dell'opera.

Al termine delle attività di cantiere, le superfici temporaneamente interferite saranno oggetto delle operazioni di ripristino pedologico descritte al paragrafo 4.5, comprendenti, ove necessario, la rimozione degli apprestamenti temporanei, la decompattazione degli strati superficiali, la regolarizzazione del piano di campagna e il reintegro e la ridistribuzione del terreno vegetale precedentemente conservato. Successivamente al ripristino saranno realizzate le opere di mitigazione previste dal progetto, costituite da fasce arboree e arbustive, aree a erbacee perenni e superfici a prato polifita. La configurazione finale consentirà pertanto il progressivo recupero della funzionalità pedologica ed ecologica delle superfici temporaneamente interferite e il successivo incremento qualitativo delle relative funzioni ecosistemiche. La superficie complessivamente destinata alle opere di mitigazione nello scenario post operam risulta pari a 3.955 m².

FIGURA 5: AREA DI MITIGAZIONE. BASEMAP: GOOGLE SATELLITE.

2.4 ULTERIORI AREE (COMPENSAZIONE)

Sono state individuate due aree idonee alla compensazione in corrispondenza del Fontanile Cagapes, distinte in una porzione nord e una porzione sud, per una superficie complessiva di 18.848 m². Per tali aree sono previsti interventi finalizzati alla riqualificazione ambientale e al rafforzamento della funzionalità ecologica del sistema del fontanile.

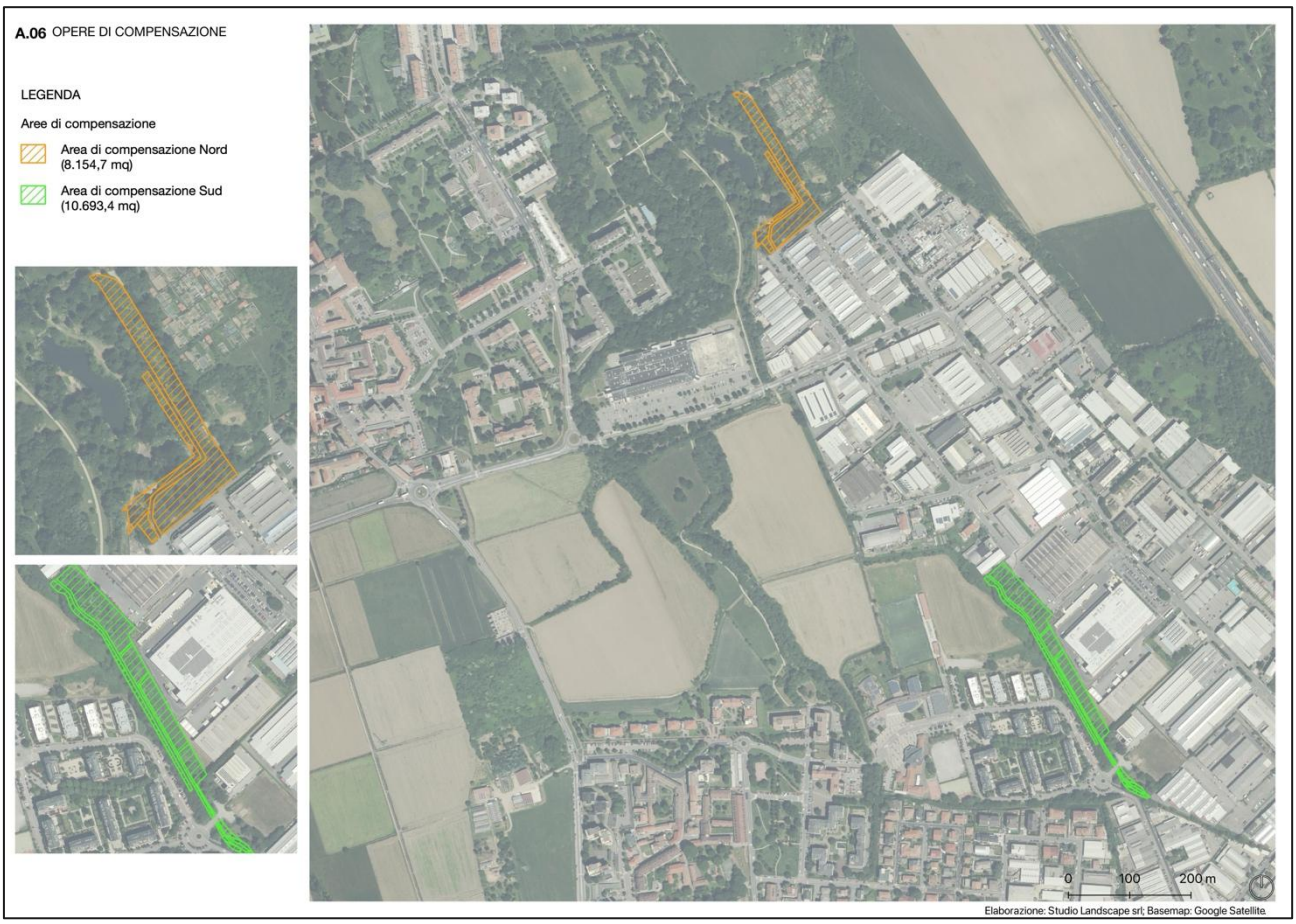
Per tali aree si prevedono principalmente interventi di valorizzazione e miglioramento delle formazioni vegetazionali esistenti, mediante rinfoltimenti e completamenti della componente arboreo-arbustiva con specie autoctone, interventi di contenimento delle specie esotiche invasive e azioni finalizzate all'incremento della diversificazione strutturale e floristica. Le specie impiegate saranno coerenti con i lineamenti fitosociologici del contesto e con quanto indicato dal PASM nell'"Elenco delle specie arboree ed arbustive autoctone del Parco Agricolo Sud Milano". Gli interventi sono inoltre orientati al contenimento delle specie esotiche invasive e all'incremento della diversificazione strutturale e floristica delle formazioni vegetazionali esistenti.

Nella porzione nord del Fontanile Cagapes, caratterizzata da formazioni vegetazionali complessivamente in buone condizioni, si prevede il potenziamento della vegetazione esistente mediante la sostituzione delle fallanze, il completamento della formazione arboreo-arbustiva e la messa a dimora di specie autoctone. È inoltre prevista la valorizzazione del legno morto e la realizzazione di cataste di legno per la microfauna, al fine di incrementare la disponibilità di rifugi e microhabitat.

Nella porzione sud, maggiormente condizionata dalla presenza di specie esotiche invasive e dal contesto urbano circostante, gli interventi comprendono la pulizia del sottobosco, il taglio selettivo delle specie invasive e la loro sostituzione con specie autoctone, oltre a interventi di riqualificazione delle sponde del fontanile. Anche in tale area è previsto il mantenimento e il riutilizzo del materiale legnoso derivante dai tagli per la realizzazione di rifugi destinati alla microfauna.

Nel complesso, gli interventi previsti concorrono alla riqualificazione ecologica del Fontanile Cagapes, favorendo l'incremento della biodiversità, il miglioramento della continuità ecologica e il rafforzamento della componente vegetazionale autoctona.

FIGURA 6: AREE DI COMPENSAZIONE FONTANILE CAGAPES. BASEMAP: GOOGLE SATELLITE.



3. QUANTIFICAZIONE DEL NUOVO CONSUMO DI SUOLO SECONDO ISPRA (2024)

In conformità a quanto richiesto dagli enti competenti e in linea con la definizione ISPRA 2024, il nuovo consumo di suolo è stato analizzato considerando esclusivamente le superfici attualmente classificate come "suolo non consumato" che, a seguito dell'intervento, verranno trasformate in "suolo consumato". Secondo il Geoportale ISPRA (EcoAtlante), le superfici oggetto di trasformazione risultano classificate come suolo non consumato. Le relative caratteristiche pedologiche e funzionali sono state approfondite separatamente sulla base delle fonti regionali ERSAF e della Banca Dati Suoli LOSAN, secondo il criterio di analogia e prossimità descritto nei capitoli successivi. L'intervento comporta pertanto un nuovo consumo di suolo pari a 4.075 m², rappresentato dalle aree destinate all'impermeabilizzazione. La quantificazione è riportata sinteticamente nella seguente tabella:

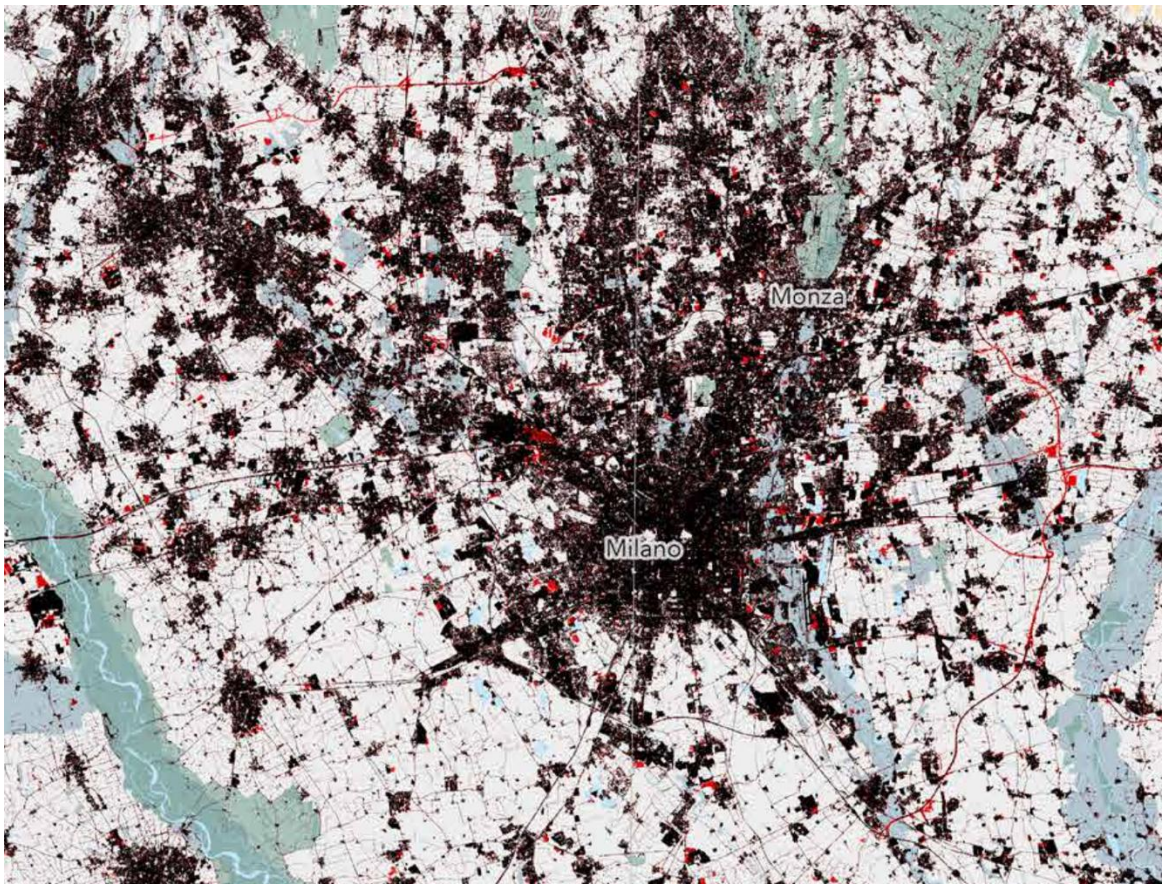
TABELLA 1: CONSUMO DI SUOLO

Tipologia	Superficie (m²)
Nuovo consumo di suolo secondo ISPRA	4.075

Dati	Stato di fatto		Stato di progetto	
	m^2	ha	m^2	ha
Sup. complessiva area di Intervento	29.920,74	2,99	29.920,74	2,99
Sup. impermeabile	21.889,66	2,19	25.965,31	2,60
Incidenza (%)	73,16%		86,78 %	
Sup. permeabile	8.031,08	0,80	3.955,44	0,40
Incidenza (%)	26,84%		13,22 %	
Sup. netta impermeabilizzata dal progetto*			4.075,64	0,41
*(sup. impermeabile di progetto - sup. impermeabile attuale)				

L'analisi dell'effetto ambientale è stata poi integrata nella valutazione dei servizi ecosistemici.

FIGURA 7: ESTRATTO ECOATLANTE – SUOLO CONSUMATO 2023



3.1 CONFRONTO DEL CONSUMO DI SUOLO A SCALA REGIONALE, PROVINCIALE

Per contestualizzare ulteriormente l'incidenza territoriale del progetto, si riporta una valutazione comparativa del consumo di suolo rispetto al territorio regionale (Lombardia) e provinciale (Milano). Il confronto evidenzia come la superficie oggetto di trasformazione rappresenti una quota estremamente ridotta rispetto ai grandi ambiti amministrativi.

3.1.1 SUPERFICI DI RIFERIMENTO

- Suolo consumato dal progetto: 4.075,6 m²
- Superficie Regione Lombardia: 23.863 km² (23.863.000.000 m²)
- Superficie Provincia di Milano: 1.575,65 km² (1.575.650.000 m²)

TABELLA 2: CONFRONTO PERCENTUALE DEL CONSUMO DI SUOLO

Livello territoriale	Superficie totale (m²)	Suolo consumato dal progetto (m²)	Percentuale

Regione Lombardia	23.863.000.000	4.075,6	**0,00001708%**
Provincia di Milano	1.575.650.000	4.075,6	**0,00025866%**

3.1.2 INTERPRETAZIONE

Il consumo di suolo prodotto dal progetto rappresenta:

- **0,00001708% del territorio regionale**, un'incidenza trascurabile a scala macro-territoriale.
- **0,00025866% del territorio provinciale**, anch'essa estremamente contenuta.

Questi dati confermano che l'impatto in termini di estensione territoriale è minimo se rapportato a unità amministrative superiori, pur mantenendo rilevanza locale per via della trasformazione permanente della funzionalità pedologica nelle aree direttamente coinvolte.

4. VALUTAZIONE PEDOLOGICA E SERVIZI ECOSISTEMICI

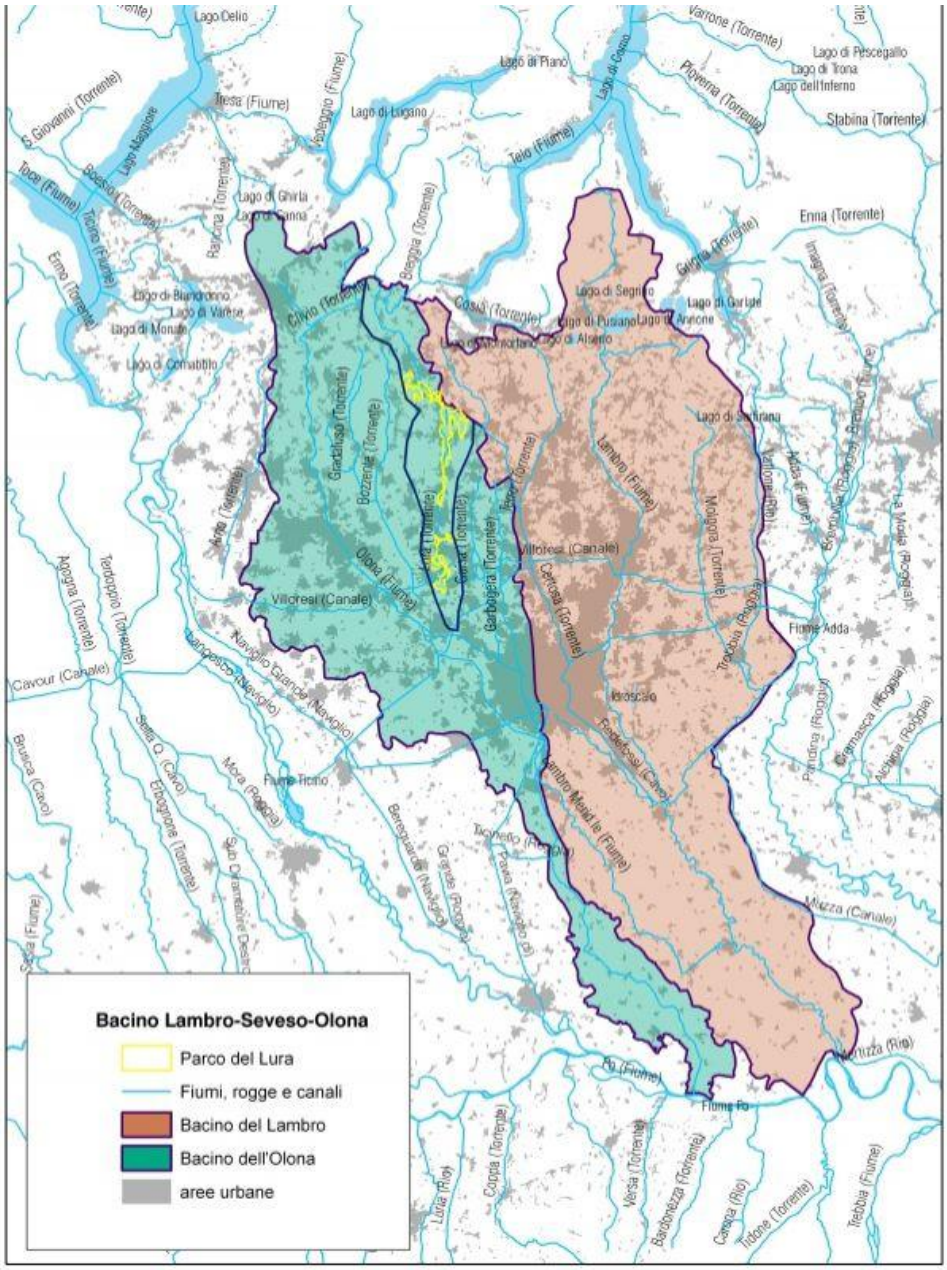
4.1 INQUADRAMENTO PEDOLOGICO

L'area oggetto di intervento, ubicata nel Comune di Settimo Milanese (MI), si inserisce nel livello fondamentale della pianura (L) secondo l'inquadramento pedopaesaggistico della Carta dei Suoli di Regione Lombardia. Tale ambito è caratterizzato da superfici pianeggianti o debolmente ondulate, impostate prevalentemente su depositi fluvioglaciali e alluvionali della pianura lombarda.

Come approfondito nei paragrafi successivi, l'area di progetto non risulta direttamente classificata nella cartografia pedologica regionale di dettaglio; ai fini della presente valutazione viene pertanto assunta, per analogia e prossimità con le aree limitrofe cartografate, l'Unità Cartografica 362 – CIC1/ZIT1. Le relative componenti presentano suoli generalmente profondi, con caratteristiche tessiturali e idrologiche variabili: le schede delle serie di riferimento indicano tessiture prevalentemente franco-sabbiose per la componente CIC e franche per la componente ZIT, con drenaggio generalmente buono. Le caratteristiche specifiche delle due componenti e le relative proprietà applicative sono descritte nel successivo paragrafo 4.2.

FIGURA 8: LIVELLO FONDAMENTALE DELLA PIANURA (L)

FIGURA 9: VALLI FLUVIALI (V)



4.1.1 PEDOPAESAGGIO DEL LIVELLO FONDAMENTALE DELLA PIANURA (L)

Il pedopaesaggio del livello fondamentale della pianura (L), nel quale ricade l'area di studio ubicata nel Comune di Settimo Milanese (MI), descrive le superfici pianeggianti della pianura lombarda formatesi a seguito dei processi fluvioglaciali e alluvionali legati alle fasi finali della glaciazione wurmiana, a valle degli apparati morenici prealpini.

Nel contesto della pianura milanese, tali superfici sono caratterizzate da sedimenti a granulometria prevalentemente fine, costituiti da limi e argille, depositati in condizioni di bassa energia. L'area si colloca nella media pianura irrigua, caratterizzata da morfologia uniforme e da una significativa influenza del reticolo idrico artificiale e naturale.

All'interno del livello fondamentale della pianura possono essere presenti condizioni pedologiche differenziate in funzione della posizione morfologica, della granulometria dei depositi e della dinamica idrica locale. Tali condizioni determinano variazioni nella tessitura, nel drenaggio e nella permeabilità dei suoli anche su distanze relativamente ridotte.

Per l'area di intervento, non essendo disponibile una classificazione pedologica direttamente riferita al lotto, le valutazioni di dettaglio sono state sviluppate assumendo quale riferimento l'Unità Cartografica 362 – CIC1/ZIT1 e le relative componenti pedologiche, descritte nel successivo paragrafo 3.2. Non vengono pertanto attribuite in modo univoco al sito condizioni di idromorfia, ristagno o specifiche classi tessiturali in assenza di determinazioni sito-specifiche.

4.1.2 PEDOPAESAGGIO DELLE VALLI FLUVIALI DEI CORSI D'ACQUA OLOCENICI (V)

Il pedopaesaggio delle valli fluviali dei corsi d'acqua olocenici (V) descrive le superfici connesse al reticolo idrografico attuale e recente, comprendenti le piane alluvionali attive o fossili e le superfici debolmente terrazzate poste a quote prossime agli alvei.

Nel contesto della pianura milanese e del Comune di Settimo Milanese, tali ambiti risultano associati prevalentemente al reticolo idrico minore naturale e artificializzato, costituito da corsi d'acqua di modesta incisione e da una fitta rete di canali irrigui e di drenaggio. L'origine di queste forme è legata ai processi di deposizione e rimodellamento fluviale attivi in epoca olocenica, successivamente modificati dagli interventi antropici di regimazione idraulica.

Le valli fluviali si presentano come superfici debolmente depresse rispetto al livello fondamentale della pianura, caratterizzate da condizioni morfologiche poco marcate ma da un assetto idrologico distinto. In tali contesti si riconoscono prevalentemente piane alluvionali attuali o recenti (VA), formatesi per deposizione progressiva di sedimenti fini in condizioni di bassa energia, talvolta associate a episodi di esondazione o ristagno.

La pedogenesi in questi ambienti risulta generalmente limitata, a causa della relativa giovinezza dei depositi e delle condizioni idriche spesso condizionanti. I suoli sono quindi poco evoluti e poco differenziati rispetto al materiale parentale, costituito principalmente da sedimenti limoso-argillosi o franco-limosi.

Dal punto di vista idrologico, tali suoli sono frequentemente soggetti a fenomeni di idromorfia, con presenza di falda superficiale o subaffiorante che può permanere per periodi prolungati. Queste condizioni determinano una riduzione della permeabilità e influenzano le proprietà fisiche e chimiche dei suoli.

La profondità utile è variabile e spesso condizionata dalla dinamica della falda, mentre la tessitura è generalmente media o moderatamente fine; lo scheletro è scarso o assente. La reazione è neutra o subalcalina, con elevata saturazione in basi, mentre il contenuto in carbonati è variabile ma generalmente non limitante.

Nel complesso, i suoli appartenenti a questo pedopaesaggio presentano limitazioni legate al drenaggio e alla lavorabilità, risultando meno favorevoli all'uso agricolo intensivo rispetto ai suoli del livello fondamentale della pianura, ma assumendo un ruolo rilevante sotto il profilo idraulico e ambientale.

4.2 APPROFONDIMENTI

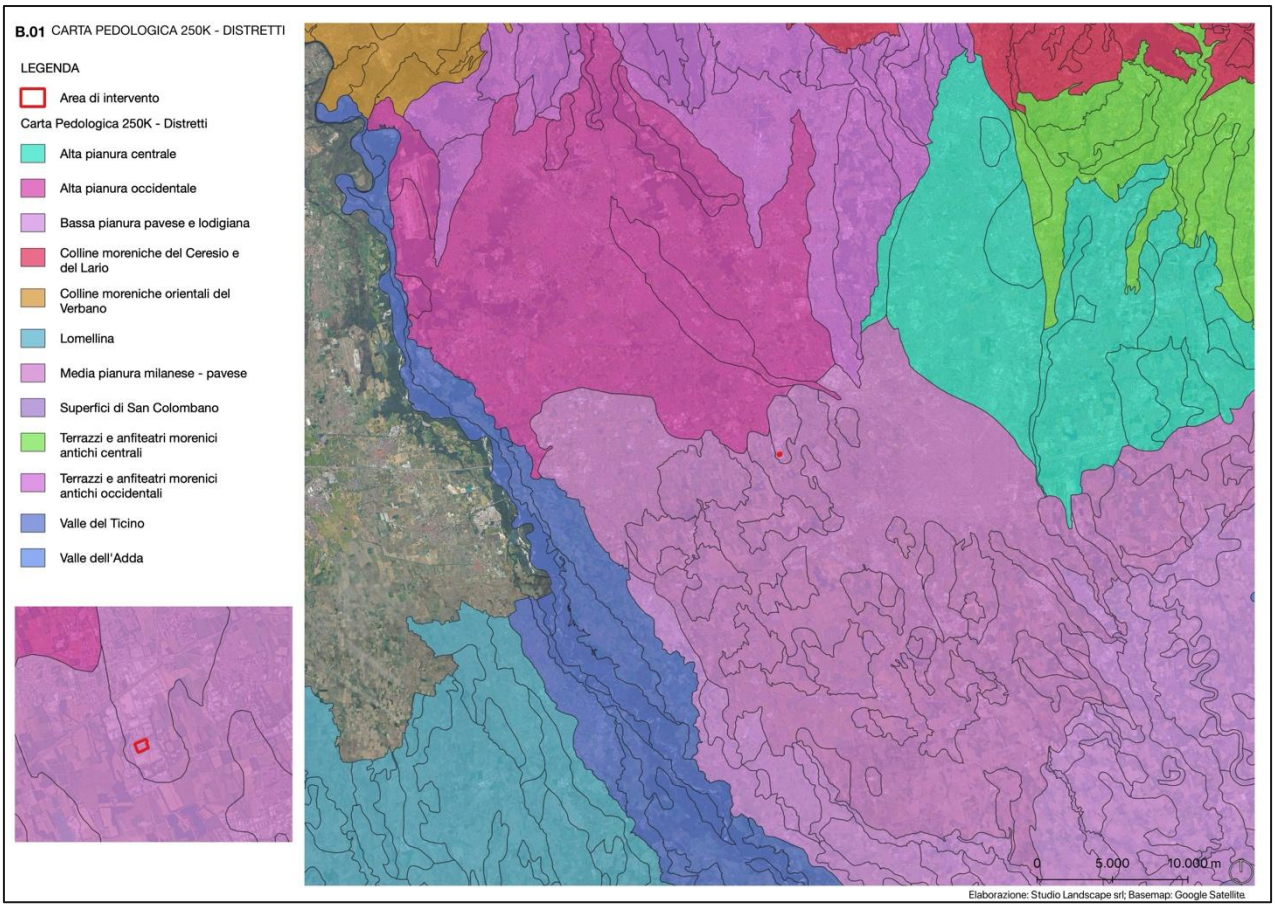
Ulteriori approfondimenti pedologici sono stati condotti mediante la consultazione delle informazioni digitali rese disponibili da ERSAF – Regione Lombardia, con particolare riferimento alla Carta dei Suoli della Lombardia e ai relativi database territoriali.

Attraverso tali strumenti è possibile individuare e caratterizzare i suoli nel contesto ambientale e fisiografico in cui si sono formati e sono attualmente inseriti, evidenziando aspetti relativi alla genesi, alle proprietà fisico-chimiche e alle principali limitazioni d'uso.

Mediante i servizi cartografici regionali (Geoportale della Lombardia) è possibile consultare le carte pedologiche e i tematismi derivati, che descrivono il comportamento funzionale dei suoli e alcune loro attitudini applicative (capacità d'uso, drenaggio, fertilità, limitazioni). Le informazioni sono organizzate in unità cartografiche e pedopaesaggi, corredati da descrizioni tipologiche di riferimento.

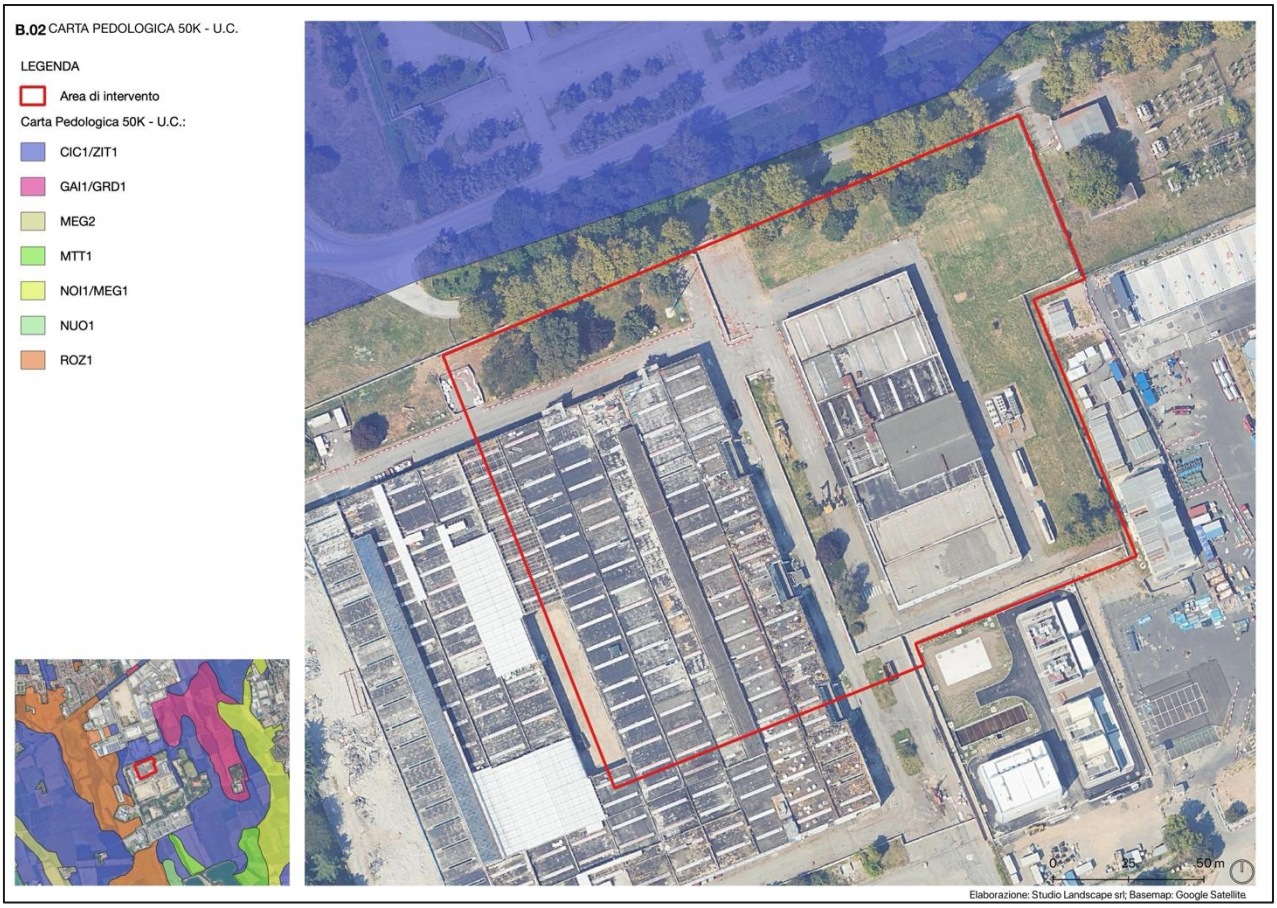
Tali cartografie, generalmente disponibili a scala di semidettaglio, forniscono un quadro conoscitivo adeguato per analisi a scala comunale e territoriale e costituiscono un riferimento di base per eventuali approfondimenti a scala maggiore, necessari nelle fasi di progettazione e valutazione di ambiti puntuali.

FIGURA 10: CARTA PEDOLOGICA 250K – DISTRETTI. GEOPORTALE REGIONE LOMBARDIA



Procedendo con la consultazione della sezione "cartografia" viene rappresentata la mappa dove sono proposte una serie di informazioni.

FIGURA 11: CARTA PEDOLOGICA 50K – U.C. GEOPORTALE REGIONE LOMBARDIA



L'ambito di intervento oggetto della presente relazione non risulta classificato nella carta pedologica della Regione Lombardia, in quanto riferito a un'area non agricola. Tuttavia, prima del 2018, l'area era prevalentemente destinata a prato stabile.

Per tale ragione, si è ritenuto opportuno attribuire all'ambito di intervento, per analogia e prossimità con le aree limitrofe, la classe di unità di paesaggio CIC1/ZIT1, rappresentata in blu nella planimetria soprastante (TAV_B.02_CARTA PEDOLOGICA 50K – U.C.).

4.2.1 TIPI DI SUOLO

Le tipologie regionali di suolo vengono descritte per mezzo di tre entità distinte: le Serie, le Fasi di Serie e i Pedon (Profili) di riferimento. Tali entità, immagazzinate nel sistema informativo pedologico dell'ERSAL, sono state riportate nelle corrispondenti schede del documento ipertestuale.

La **Serie** costituisce il livello di massima generalizzazione nel sistema informativo pedologico; la definizione della Serie sintetizza le proprietà morfo-chimiche e i caratteri evolutivi di un certo numero di suoli simili descritti in campagna, che risultino omogenei per alcune caratteristiche significative, come ad esempio spessore e distribuzione degli orizzonti, struttura, colore, chimismo e collocazione fisiografica.

La **Fase di Serie** rappresenta il livello concettuale intermedio fra il suolo-tipo idealizzato nella Serie e l'espressione territoriale del suolo stesso. Dal punto di vista tipologico, le fasi rappresentano una maggiore definizione delle serie soprattutto per quel che riguarda l'esplicitazione delle proprietà applicative e gestionali dei suoli e il restringimento dei range delle caratteristiche pedologiche.

Ogni Serie ed ogni Fase possiede un **Pedon** di riferimento, che viene detto **tipico** per le Serie e **focale** per le Fasi di Serie. I Pedon sono descritti attraverso i **Profili**.

Il Pedon tipico/focale rappresenta il collegamento fra le tipologie e i suoli effettivamente rilevati e descritti in campagna e per mezzo delle analisi chimiche, ed è il suolo che meglio rappresenta le caratteristiche generalizzate e descritte nelle Serie e nelle Fasi.

Di seguito sono riportate le informazioni relative all'Unità Cartografica 362 – CIC1/ZIT1, assunta quale riferimento pedologico per l'area di intervento sulla base del criterio di analogia e prossimità con le aree limitrofe cartografate.

Scheda Unità Cartografica	
Unità Cartografica	362 - CIC1/ZIT1
Tipo UC	Complesso
Componenti	CIC1/ZIT1
Descrizione UC	
Unità costituita da delineazioni localizzate in ambito di pianura alluvionale, con un'estensione complessiva di circa 7.232 ha, caratterizzate da morfologia pianeggiante o debolmente ondulata e pendenze molto ridotte (<1%). Superfici di origine alluvionale recente/sub-recente, con pietrosità superficiale assente o molto scarsa e rischio di inondazione da lieve a moderato. Parent material costituito da depositi alluvionali a granulometria variabile (da fine a media), generalmente calcarei; substrato rappresentato da limi, limi sabbiosi e sabbie limose. Uso del suolo prevalente agricolo, con seminativi e colture foraggere/cerealicole. Suoli generalmente molto profondi, a tessitura da media a moderatamente fine, con scheletro assente, moderatamente calcarei o calcarei, reazione neutra–subalcalina, drenaggio da buono a moderato, permeabilità da moderata a moderatamente bassa, AWC medio-alta e saturazione in basi elevata.	

Pedopaesaggio	
Sistema	L
Sotto Sistema	LW
Unità	LW1

Interpretazioni pedologiche	
	CIC1/ZIT1
Capacità d'uso	Suoli adatti all'agricoltura con lievi limitazioni
Attitudine allo spandimento dei reflui zootecnici	Suoli adatti con lievi limitazioni
Attitudine allo spandimento dei fanghi di depurazione	Suoli adatti con moderate limitazioni
Capacità protettiva per le acque sotterranee	Elevata
Capacità protettiva per le acque superficiali	Moderata
Valore naturalistico	Basso
Tessitura del primo metro	media
AWC del primo metro	molto alta
Profondità utile	molto profondi

Ai fini del presente studio, sono state indagate due informazioni derivanti dalle interpretazioni pedologiche, una relativa al valore naturalistico dei suoli e l'altra alla tessitura del primo metro.

4.2.1.1 INTERPRETAZIONI

Valore naturalistico dei suoli

Questa interpretazione propone una valutazione dell'interesse scientifico e della singolarità che le risorse pedologiche regionali manifestano dal punto di vista naturalistico, o perché i suoli sono testimonianze viventi delle intense relazioni tra pedosfera e sistema delle acque (suoli a regime aquico), che hanno avuto una importanza determinante nell'evoluzione degli ecosistemi e dello stesso paesaggio della pianura padana, o perché conservano tesori paleogeografici e paleoclimatici (paleosuoli delle superfici del pleistocene medio-superiore), divenendo così parte dell'eredità culturale dell'umanità, o perché sono caratterizzati da processi pedogenetici tipici di ambienti di formazione particolari (vertisuoli nelle "valli" della piana alluvionale del Po, suoli ad epipedon umbrico fortemente sviluppato nell'alta pianura e sulle morene della parte nord-occidentale della Lombardia, suoli sabbiosi del livello fondamentale della pianura che conservano la presenza di un orizzonte argillico o di lamelle di argilla illuviale, spodosuoli, suoli a matrice più fine e più elevato tenore in carbonati che hanno sviluppato in profondità un orizzonte petrocalcico molto indurito). La sempre più vasta attenzione riservata nella società agli aspetti culturali e ricreativi ha fatto crescere in questi anni la sensibilità per i beni ambientali, anche per quelli,

come il suolo, rimasti più a lungo confinati nella sfera di interesse di pochi specialisti. L'interpretazione del valore naturalistico dei suoli può costituire un riferimento utile per caratterizzare in modo più completo i beni ambientali, integrando conoscenze pedologiche con conoscenze geomorfologiche, naturalistiche, floristiche, paesaggistiche, geografiche, etc., e per proporre strategie comuni per la loro valorizzazione e fruizione.

FIGURA 12: ESTRATTO VALORE NATURALISTICO DEI SUOLI

Valore naturalistico

VALORE NATURALISTICO DEI SUOLI

Modello Interpretativo		
ALTO	MODERATO	BASSO
Suoli che appartengono ai grandi gruppi **Frag- o Plinth-** o ai sottogruppi **Fragic o Plinthic** degli Alfisols e Ultisols	Suoli che appartengono ai grandi gruppi **Pale- o Rhod-** degli Alfisols e Ultisols	ALTRI SUOLI
Suoli con orizzonte **a fragipan**, con **plinthite o pseudo plinthite**, con **orizzonte glossico**	Suoli che appartengono ai sottordini **Aqu-**	
Histosols e suoli che appartengono ai grandi gruppi **Hist-**	Suoli che appartengono al sottogruppo **Argic** degli Psamments	
Suoli che appartengo a un sottogruppo **"Pachic humic"** {ex Pachic o Cumulic Haplumbrepts}	Suoli con orizzonte argillico appartenenti a uno dei sottogruppi: **psammentic, arenic, grossarenic**	
Spodosols	Suoli che appartengono al sottogruppo **petrocalcic** dei GG Calciustepts, Calcixerepts, Calciusterts, Calcixererts, Haplusterts	
	Suoli con orizzonte **umbrico** {SG **"humic"** - ex Umbrepts} e **Humults**	
	Vertisols	

Tessitura del primo metro

La tessitura è la proporzione relativa delle particelle minerali, di diametro inferiore a 2 mm, costituenti la cosiddetta "terra fine" del suolo. La tessitura viene determinata mediante analisi granulometriche di laboratorio oppure viene stimata al tatto in campagna. Le 12 classi tessiturali previste dal USDA sono le seguenti (in parentesi le sigle dei codici ERSAL):

- sabbiosa (S)
- sabbioso-franca (SF)
- limosa (L)
- franco-sabbiosa (FS)
- franca (F)
- franco-limosa (FL)
- franco-sabbioso-argillosa (FSA)
- franco-argillosa (FA)
- franco-limoso-argillosa (FLA)
- argilloso-sabbiosa (AS)

- argilloso-limosa (AL)
- argillosa (A)

Scheda Fasi di Serie	
Sigla	CIC1/ZIT1
Nome	-
Serie	CIC1/ZIT1
Caratteri specifici della fase	
Morfologia	Dosso di antico argine naturale
Drenaggio	Buono
Permeabilità	Moderatamente bassa
Parent material	depositi alluvionali calcarei medi
Distribuzione	CIC1 nelle porzioni leggermente rilevate e meglio drenate; ZIT1 nelle aree depresse, a minore drenaggio e maggiore influenza della falda.
Caratteristiche ambientali	
Uso del Suolo	erba medica e altre colture foraggiere
Proprietà applicative	
I suoli appartenenti all'Unità Cartografica CIC1/ZIT1 sono adatti all'agricoltura (IIw), presentando moderate limitazioni legate principalmente alla dinamica idrica del suolo e alla permeabilità moderata, che richiedono una adeguata gestione agronomica e una opportuna scelta colturale; risultano adatti allo spandimento dei reflui zootecnici (S2), con lievi limitazioni connesse al rischio di ristagno idrico nelle porzioni più depresse; sono moderatamente adatti allo spandimento dei fanghi di depurazione (S3), con limitazioni legate alle caratteristiche chimico-fisiche del suolo e alla capacità di scambio cationico; presentano una capacità protettiva moderata (M) nei confronti delle acque superficiali, in relazione al comportamento idrologico e al potenziale di runoff, e da moderata a elevata (M–E) nei confronti delle acque sotterranee; il valore naturalistico è generalmente basso (B), in relazione all'uso agricolo prevalente e al grado di antropizzazione.	

Scheda Serie	
Sigla	CIC/ZIT
Nome	CICOGNA; ZIBIDO TORRE
Caratteri generali	
Descrizione	I suoli CIC presentano orizzonti superficiali spesso 25 cm con colori bruno oliva, scheletro assente o scarso, tessitura franco-sabbiosa, non calcareo, a reazione subacida. Gli orizzonti profondi hanno spessore medio di circa 25 cm, con tessitura franco-sabbiosa, colore bruno; scheletro assente o scarso; non calcareo, a reazione

	subacida o neutra; substrato a partire da 45-70 cm, sabbioso-ghiaioso, non calcareo (raramente può essere scarsamente calcareo). I suoli ZIT presentano un topsoil con spessore medio di 40 cm, colori bruno giallastri, scheletro da assente a comune, tessitura franca, non calcareo, a reazione neutra-subacida. Il subsoil presenta orizzonti profondi spessi 50 cm, a tessitura franco sabbiosa, scheletro da comune a frequente, colori bruni, non calcarei, a reazione subacida. Substrato a partire da 110 cm, sabbioso con presenza variabile di ghiaia.
Morfologia	CIC: superfici subpianeggianti della media e bassa pianura (livello fondamentale) collegate con fondi di paleoalvei; ZIT: Piano alluvionale aperto
Drenaggio	Buono
Permeabilità	CIC: Moderatamente elevata; ZIT: Moderatamente elevata
Parent material	CIC: Depositi fluvioglaciali moderatamente grossolane, non o scarsamente calcaree; ZIT: Depositi sabbiosi talvolta con ghiaia
Substrato	Ghiaie sabbiose silicee
Distribuzione	Settore a Sud-Ovest del Comune di Milano
Prof. utile	> 150
Caratteristiche ambientali	
Soil region	Piana lombarda (Pianura padano – veneta)
UDP	Dossi di forma generalmente allungata, poco rilevati e dolcemente raccordati alle superfici adiacenti. Sono diffusi soprattutto nelle piane alluvionali di tracimazione e meandriformi.
Uso del Suolo	CIC: Cereali tipo mais; ZIT: Cereali tipo mais
Classificazioni	
USDA	CIC: corse loamy over sandy or sandy skeletal, mixed, superactive, mesic, Dystric Eutrudepts; ZIT: coarse loamy, mixed, superactive, mesic, Dystric Eutrudepts
FAO	Gleyc Cambisols
Genesi ed evoluzione dei suoli	
Processi genetici	CIC: Lisciviazione; ZIT: Alterazione parent material, lisciviazione
Orizzonti genetici	CIC: Ap-Bw-BC-C; ZIT: Ap-Bw-C
Orizzonti diagnostici	Epipedon Ochrico, orizzonte cambico
Fasi di serie assunte quale riferimento per l'area	
CIC1/ZIT1	CICOGNA Franco sabbiosa / ZIBIDO TORRE franca

Profilo rappresentativo della serie	
Codice profilo	CIC1:P14/18; ZIT1: P27/19

FIGURA 13: PROFILO RAPPRESENTATIVO DELLA SERIE CIC 1 P14/18

4.2.2 ULTERIORI APPROFONDIMENTI

A completamento dell'indagine pedologica e ad integrazione delle informazioni desunte dalla cartografia regionale, sono stati consultati i dati e le schede pedologiche disponibili nella Banca Dati Suoli LOSAN di ERSAF – Regione Lombardia, con particolare riferimento alle unità cartografiche e alle tipologie di suolo presenti nel settore occidentale della pianura milanese.

Tale approfondimento della componente pedologica ha la finalità di fornire ulteriori informazioni utili a completare la descrizione del suolo assunto quale riferimento per l'area di studio e a supportare le successive valutazioni, comprese quelle relative ai servizi ecosistemici.

A completamento dell'inquadramento pedologico, le informazioni di dettaglio sono state desunte dalla Carta dei Suoli della Lombardia e dalla relativa Banca Dati Suoli LOSAN di ERSAF, che costituiscono il principale riferimento regionale per la caratterizzazione delle unità cartografiche, delle unità tipologiche di suolo e dei profili pedologici rappresentativi.

Come già evidenziato nei paragrafi precedenti, l'area oggetto di intervento non risulta direttamente classificata nella cartografia pedologica regionale, in quanto attualmente ricadente in un ambito non agricolo. Ai fini della presente valutazione, sulla base della localizzazione geografica, delle caratteristiche del pedopaesaggio e della continuità con le aree circostanti cartografate, l'ambito è stato pertanto ricondotto, per analogia e prossimità, all'Unità Cartografica CIC1/ZIT1, appartenente al pedopaesaggio LW1.

Tale unità rappresenta pertanto il riferimento pedologico assunto per la descrizione delle proprietà fisiche, chimiche, idrologiche e funzionali dei suoli potenzialmente presenti nell'area di studio. Le informazioni relative alle componenti CIC1 e ZIT1, ai relativi profili rappresentativi e alle proprietà applicative sono state utilizzate come base conoscitiva per le successive valutazioni dei servizi ecosistemici.

Per quanto riguarda gli aspetti riferiti al catalogo regionale dei suoli, vengono quindi considerate le caratteristiche delle componenti CIC1 e ZIT1 dell'Unità Cartografica CIC1/ZIT1, descritte di seguito.

Per gli aspetti riferiti al catalogo regionale dei suoli, di seguito sono riportate le caratteristiche della componente CIC1 dell'Unità Cartografica 362 – CIC1/ZIT1, assunta quale riferimento pedologico per l'area di studio. La componente CIC1 è riferita al pedopaesaggio LW1 ed è descritta come segue:

Classificazione:	Coarse loamy, mixed, superactive, mesic, Dystric Eutrudepts
Morfologia:	Piano alluvionale aperto
Litologia:	Depositi fluvioglaciali moderatamente grossolane, non o scarsamente calcaree
Uso del Suolo:	Cereali tipo mais
Drenaggio:	buono
Ap (0-40 cm)	poco umido; colore matrice umido da bruno a bruno scuro (10YR4/3); franco-sabbioso; scheletro comune, piccolo e molto piccolo; struttura poliedrica angolare grande con aggregazioni moderatamente sviluppate; non calcareo; pori comuni, medi; limite inferiore abrupto, lineare.
Bw (40-55 cm)	poco umido; colore matrice umido da bruno a bruno scuro (10YR4/3); franco-sabbioso; scheletro comune, piccolo e molto piccolo; struttura poliedrica angolare grande con aggregazioni moderatamente sviluppate; non calcareo; pori comuni, fini; limite inferiore abrupto, lineare.
C (55 -120 cm)	poco umido; colore matrice umido bruno grigiastro molto scuro (10YR3/2); franco-sabbioso; scheletro abbondante, piccolo e molto piccolo; struttura poliedrica subangolare grande con aggregazioni debolmente sviluppate; non calcareo; pori pochi, molto fini; limite inferiore sconosciuto.

Analisi chimico fisiche del profilo CIC1

Orizzonte	Profondità	pH in acqua	Calcare totale (%)	Carbonio Organico (%)	Sostanza Organica (%)

Ap	0	40	7,0	0,0	2,75	4,73
Bw	40	55	8,1	0,0	1,67	2,8724
C	55	120	8,1	0,0	0,90	1,548

FIGURA 14: PROFILO ICONOGRAFICO CIC1

Analogamente, di seguito sono riportate le caratteristiche della componente ZIT1 dell'Unità Cartografica 362 – CIC1/ZIT1, assunta quale riferimento pedologico per l'area di studio. La componente ZIT1 è riferita al pedopaesaggio LW1 ed è descritta come segue:

Classificazione:	coarse loamy, mixed, superactive, mesic, Dystric Eutrudepts
Morfologia:	Piano alluvionale aperto
Litologia:	Depositi sabbiosi talvolta con ghiaia
Uso del Suolo:	Cereali tipo mais
Drenaggio:	buono
Ap (0-30 cm)	umido (capacita' di campo); colore matrice umido bruno giallastro scuro (10YR4/4); franco-sabbioso; non calcareo; pori comuni, fini; limite inferiore abrupto, lineare.

Bw (30-48 cm)	umido (capacita' di campo); colore matrice umido bruno forte (7,5YR4/6); franco-sabbioso; non calcareo; pori comuni, fini; limite inferiore abrupto, lineare.
2C1 (48 -60 cm)	bagnato (acqua libera, anche falda); colore matrice umido bruno giallastro scuro (10YR4/4); franco-sabbioso; scheletro abbondante, molto piccolo e piccolo; non calcareo; pori pochi, fini; limite inferiore abrupto, irregolare.
2C2 (60–70 cm)	bagnato (acqua libera, anche falda); colore matrice umido da bruno scuro a bruno (7,5YR4/4); scheletro frequente, piccolo e medio; non calcareo; pori pochi, fini; limite inferiore abrupto, irregolare.
C3 (<70 cm)	bagnato (acqua libera, anche falda); scheletro abbondante, piccolo e medio; non calcareo; pori pochi, fini; limite inferiore sconosciuto.

Analisi chimico fisiche del profilo ZIT1

Orizzonte	**Profondità**		**pH in acqua**	**Calcare totale (%)**	**Carbonio Organico (%)**	**Sostanza Organica (%)**
Ap	0	30	5,9	0,0	1,10	1,892
Bw	30	48	6,6	0,0	0,46	0,7912
2C1	48	60	6,8	0,0	0,38	0,6536

FIGURA 15: PROFILO ICONOGRAFICO ZIT1

4.2.3 CONCLUSIONI

Le informazioni pedologiche ricostruite costituiscono un quadro conoscitivo utile alle successive elaborazioni e risultano coerenti con quanto riportato nella pubblicazione "Suoli e paesaggi della provincia di Milano", richiamata quale riferimento bibliografico per l'inquadramento pedologico territoriale.

Dal punto di vista territoriale, infine, le fasi sono le entità che vengono riconosciute e cartografate mediante una loro organizzazione in Unità Cartografiche.

In sintesi, sulla base della scheda *LOSAN di ERSAF* relativa all'Unità Cartografica CIC1/ZIT1, le componenti pedologiche assunte quale riferimento per l'area di intervento sono caratterizzate da:

- buona attitudine agricola, in particolare per la componente ZIT1, descritta da *LOSAN* come utilizzabile per tutte le colture e con pochissimi fattori limitanti all'uso agricolo;
- tessitura prevalentemente media o moderatamente grossolana, coerente con una buona lavorabilità del suolo e con condizioni favorevoli allo sviluppo radicale;
- buone condizioni di drenaggio e infiltrazione, tali da contribuire alla regolazione del ciclo idrologico locale;
- capacità protettiva del suolo significativa, rilevante rispetto alla funzione di filtro e protezione delle acque;
- limitazioni specifiche per alcuni usi agronomici, in particolare per lo spandimento di liquami zootecnici e fanghi di depurazione, legate a granulometria, pH e capacità di scambio cationico;
- buona funzionalità pedologica complessiva, con un ruolo rilevante nel mantenimento della fertilità, nel supporto alla vegetazione, nella regolazione idrica e nella conservazione dei servizi ecosistemici locali.

4.3 SERVIZI ECOSISTEMICI PERSI O COMPROMESSI

La valutazione dei servizi ecosistemici (SE) è un processo complesso, poiché per la valutazione di ciascun servizio ci sono mondi di competenze scientifiche di ambiti differenti da integrare e dati la cui disponibilità è variegata per accuratezza, scala, aggiornamento, etc.

Mentre per la valutazione di alcuni SE la metodologia è piuttosto consolidata, come ad es. la valutazione dello stoccaggio di carbonio, e il riferimento per la trattazione verte sull'approfondimento delle fonti di dati, per altri, non essendo ancora consolidati, si stanno sperimentando diverse modalità di valutazione (ISPRA 2018).

ISPRA propone una valutazione a scala nazionale attraverso la stima della variazione di SE conseguente al consumo di suolo prodotto ogni anno. Viene considerata sia la variazione dei servizi offerti, sia la variazione dello stock di risorse, a seconda dei casi e in funzione di metodi e dati disponibili. Questo è un aspetto attualmente oggetto di discussione e approfondimento, in particolare rispetto alla componente di perdita di capacità degli ecosistemi all'interno dell'impatto complessivo, che va oltre la valutazione del servizio effettivamente fornito e assume secondo alcuni un ruolo simile a quello della perdita dello stock di risorse.

È opportuno rilevare che la valutazione dei SE a scala nazionale incontra un importante problema riguardante la disponibilità di banche dati idonee a scala nazionale. È infatti del tutto evidente che alcune banche dati ambientali, in particolare nel caso dei suoli, sono assolutamente deficitarie rispetto alla necessità.

Un esempio riguarda l'implementazione di metodi biofisici robusti, come quelli su base fisica, e capaci di quantificare importanti SE riguardanti le produzioni o il ciclo dell'acqua non sono sempre o difficilmente applicabili.

Quindi le valutazioni dei SE prodotte da ISPRA a scala nazionale, pur nella loro grande rilevanza, devono essere utilizzate con molta cautela quando adottate a scala locale.

Prendendo spunto da alcuni dei servizi proposti già nella prima edizione della valutazione nazionale (ISPRA, 2016), sviluppati nell'ambito di progetti specifici come, ad esempio, il progetto Life SAM4CP, sono stati considerati alcuni SE per la loro robustezza in termini di disponibilità dei dati.

L'edizione del 2018 di ISPRA propone un set di SE che vengono di seguito elencati:

Servizi	**u.m. biofisica**	**u.m. economica**	**ISPRA Rapporto 2018**
Stoccaggio e sequestro di carbonio			
Flusso	t/ha	€/t	x
Stock	t/ha	€/t	x
Qualità degli habitat	adim	€/ha	x
Produzione agricola			
Flusso	ha	€/ha	x
Stock	ha	€/ha	x
Produzione di legname			
Flusso	m3	€/m3	x
Stock		€/ha	x
Impollinazione	adim	€/ha	x
Regolazione del microclima	stima	stima	x
Rimozione particolato e ozono	t/ha	€/t	x
Protezione dall'erosione	t/ha	€/t	x
Disponibilità di acqua	m3	€/m3	x
Regolazione del regime idrologico	m3	€/m3	x
Purificazione dell'acqua	adim	€/ha/anno	x
Supporto alle attività umane	adim	-	x

Tenuto presente che nelle analisi relative al consumo di suolo la dimensione spaziale è imprescindibile, è necessario utilizzare modelli spazialmente espliciti, per le finalità della pianificazione anche locale ed è indispensabile considerare servizi che possano essere quantificati.

A tal fine, e per i dati che si hanno a disposizione sulle caratteristiche dei suoli, specificatamente la componente pedologica, descritta nella relazione in evasione alle richieste di documentazione integrativa formulate dal Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE) con nota

del 15/05/2026, prot. n. 0104129, verrà condotta sui seguenti Servizi, ritenuti rappresentativi per l'indagine sull'area in oggetto:

- Regolazione idrologica: riduzione della capacità complessiva di infiltrazione e ritenzione idrica conseguente alla diminuzione delle superfici permeabili.
- Stoccaggio del carbonio: perdita e alterazione dello stock di carbonio organico nelle superfici interessate dalla trasformazione permanente.
- Biodiversità: riduzione degli habitat edafici e della superficie disponibile per le componenti vegetazionali e faunistiche.
- Protezione dall'erosione: perdita della funzione pedologica nelle superfici impermeabilizzate e riduzione della superficie vegetata protettiva.
- Valori paesaggistici: incremento locale della componente artificiale e riduzione quantitativa delle superfici vegetate.
- Produttività agricola: perdita della potenzialità pedologica nelle superfici impermeabilizzate, in assenza tuttavia di una produzione agricola effettivamente esercitata nello stato ante operam.

Nel caso in esame, la valutazione degli effetti sui servizi ecosistemici deve essere rapportata alle effettive condizioni ante operam dell'area. Il lotto risulta infatti già inserito in un contesto prevalentemente produttivo-industriale e presenta un elevato grado di artificializzazione. Le superfici permeabili ante operam ammontano complessivamente a 8.031 m², mentre nello scenario post operam risultano pari a 3.955 m². L'analisi cartografica ante/post operam individua in 4.075 m² la superficie permeabile ante operam direttamente interessata dalla nuova impermeabilizzazione. Ai fini della valutazione dei servizi ecosistemici, l'impatto permanente sul suolo viene pertanto riferito a tale superficie. La quantificazione del nuovo consumo di suolo secondo la classificazione ISPRA, sviluppata separatamente nel Capitolo 2, risponde invece a uno specifico criterio di contabilizzazione e non deve essere confusa con il confronto tra superfici permeabili ante e post operam.

Le superfici permeabili presenti nel sito sono state ricondotte, per analogia e prossimità alle aree limitrofe cartografate, all'Unità Cartografica CIC1/ZIT1 della Banca Dati Suoli LOSAN–ERSAF, assunta quale riferimento pedologico per la valutazione delle caratteristiche e delle potenzialità funzionali del suolo. Tale attribuzione consente di riconoscere alle porzioni non artificializzate una significativa funzionalità pedologica, con particolare riferimento alla regolazione idrica, al supporto alla vegetazione, all'attività biologica del suolo e alla capacità di accumulo della sostanza organica. La buona attitudine agronomica associata all'unità rappresenta pertanto una proprietà potenziale del suolo e non deve essere assimilata, nel caso specifico, alla presenza di una funzione agricola effettivamente esercitata.

Dal punto di vista idrologico, la riduzione delle superfici permeabili determina una diminuzione della capacità complessiva del sito di intercettare, infiltrare e trattenere le acque meteoriche. Nelle superfici direttamente impermeabilizzate viene meno l'interazione tra acqua e matrice pedologica e la funzione infiltrativa risulta sostanzialmente annullata. Tale effetto comporta un incremento della quota di precipitazione potenzialmente trasformata in deflusso superficiale e una riduzione della capacità del suolo di contribuire alla laminazione e alla regolazione naturale

delle acque meteoriche. La perdita non interessa tuttavia l'intero lotto, poiché 3.955 m² rimangono permeabili e vengono destinati alle opere di mitigazione a verde, mantenendo una quota significativa della funzionalità idrologica residua.

Risulta inoltre compromessa, nelle superfici trasformate, la funzione di regolazione del ciclo del carbonio. Il suolo rappresenta infatti un serbatoio di carbonio organico attraverso la sostanza organica presente negli orizzonti superficiali e l'attività degli organismi edafici. L'asportazione, il rimaneggiamento o la sigillatura del profilo pedologico determinano l'alterazione di tali processi e la perdita della capacità del suolo interessato di accumulare nuovo carbonio. Nelle superfici impermeabilizzate il contributo al sequestro del carbonio risulta pertanto fortemente compromesso, mentre permane nelle superfici permeabili post operam e può essere progressivamente incrementato attraverso le sistemazioni vegetazionali di progetto.

La trasformazione incide anche sulla funzione di protezione fisica e sulla stabilità del suolo. Nelle superfici permeabili, la copertura vegetale, gli apparati radicali, la sostanza organica e la struttura degli aggregati contribuiscono alla protezione degli orizzonti superficiali, alla dissipazione dell'energia delle precipitazioni e alla limitazione dei fenomeni di dilavamento. L'impermeabilizzazione determina la cessazione di tali processi pedologici nelle superfici direttamente interessate, mentre le superfici a verde post operam continuano a svolgere una funzione protettiva che viene ulteriormente qualificata attraverso le opere di mitigazione previste.

Un ulteriore effetto riguarda la biodiversità edafica e la capacità del suolo di sostenere habitat e processi biologici. Le superfici permeabili costituiscono infatti il substrato per comunità microbiche, microfauna, apparati radicali e altri organismi che partecipano alla decomposizione della sostanza organica, alla formazione degli aggregati e ai cicli biogeochimici. Nelle superfici impermeabilizzate tali scambi vengono sostanzialmente interrotti, determinando una perdita degli habitat edafici. Nelle superfici permeabili post operam, al contrario, la funzionalità biologica viene mantenuta e potrà essere incrementata dalla maggiore diversificazione della componente arborea, arbustiva ed erbacea prevista nelle opere a verde.

Per quanto riguarda la capacità produttiva agricola, è necessario distinguere la potenzialità agronomica intrinseca del suolo dall'effettiva erogazione del servizio. Le caratteristiche attribuite all'unità CIC1/ZIT1 evidenziano una potenziale attitudine all'uso agronomico; tuttavia, nello stato ante operam il sito non risulta interessato da coltivazioni, ordinamenti colturali o produzioni agroalimentari e si colloca all'interno di un contesto produttivo-industriale già fortemente antropizzato. L'intervento determina quindi la perdita della potenzialità pedologica nelle superfici di nuova impermeabilizzazione, ma non comporta una perdita significativa di produzione agricola effettivamente esercitata.

La riduzione delle superfici permeabili determina inoltre una diminuzione locale della capacità di regolazione microclimatica. Le superfici vegetate contribuiscono infatti all'evapotraspirazione, allo scambio di umidità e alla moderazione delle temperature superficiali, mentre le superfici artificiali presentano generalmente una maggiore capacità di assorbimento e restituzione del calore. Tale effetto deve tuttavia essere valutato nel contesto di un lotto già ampiamente urbanizzato e viene parzialmente mitigato dal mantenimento e dalla qualificazione delle superfici a verde previste nello scenario post operam.

Sotto il profilo paesaggistico e percettivo, l'intervento determina un incremento della componente artificiale e una riduzione quantitativa delle superfici vegetate all'interno di un contesto già caratterizzato da insediamenti produttivi e infrastrutture. Non si configura pertanto la trasformazione di un paesaggio agricolo continuo o di una matrice rurale attiva. L'impatto riguarda principalmente il rapporto tra superfici costruite e componenti verdi interne al lotto e viene affrontato mediante la realizzazione di fasce arboree e arbustive, aree a erbacee perenni e prato polifita, finalizzate a migliorare l'integrazione visiva ed ecologica dell'intervento.

Nel complesso, la trasformazione determina una perdita permanente delle funzioni pedologiche nelle superfici direttamente impermeabilizzate. Tale perdita interessa in particolare la regolazione idrologica, la funzionalità biologica del suolo, lo stoccaggio del carbonio e la capacità di supporto alla vegetazione. L'impatto deve tuttavia essere interpretato alla luce delle condizioni ante operam, caratterizzate da un lotto già prevalentemente artificializzato, e della permanenza di 3.955 m² di superfici permeabili interessate da specifici interventi di mitigazione. Le successive misure di compensazione previste presso il Fontanile Cagapes contribuiscono inoltre al recupero e al potenziamento di diversi servizi ecosistemici a scala territoriale, senza tuttavia sostituire fisicamente la risorsa suolo persa nelle superfici impermeabilizzate.

4.4 PATRIMONIO AGROALIMENTARE E VOCAZIONE AGRICOLA ANTE OPERAM

Con riferimento al patrimonio agroalimentare ante trasformazione, si evidenzia che l'area oggetto di intervento non presentava caratteristiche riconducibili a un ambito agricolo produttivo né risultava interessata da coltivazioni, ordinamenti colturali o produzioni agroalimentari di rilievo. Lo stato dei luoghi ante operam era infatti caratterizzato da un'area interclusa all'interno di un contesto già fortemente antropizzato, compreso tra ambiti a prevalente destinazione industriale/produttiva, priva di continuità funzionale con il sistema agricolo circostante e non inserita in una matrice agroecosistemica attiva. Alla luce delle condizioni ante operam descritte, la trasformazione non interessa superfici agricole effettivamente produttive né determina una perdita significativa di produzioni agroalimentari, non risultando il sito interessato da coltivazioni, ordinamenti colturali o produzioni tipiche o di qualità.

4.5 SUOLO OBIETTIVO E MODALITÀ OPERATIVE DI RICOSTITUZIONE

In ottemperanza alla richiesta 18.3, per la realizzazione delle aree a verde previste dal progetto e delle eventuali superfici oggetto di compensazione viene adottato lo strumento del ***"suolo obiettivo"***, secondo l'impostazione metodologica richiamata dalle Linee Guida ISPRA 65.2/2010 – Trattamento dei suoli nei ripristini ambientali legati alle infrastrutture**.**

Ai fini della presente relazione, il suolo obiettivo è inteso come la configurazione pedologica finale da conseguire mediante le operazioni di ripristino, ricostituzione e messa in posto del materiale terroso. Esso rappresenta quindi un vero e proprio suolo di progetto, definito non come semplice apporto di terreno vegetale, ma come sistema pedologico dotato di caratteristiche fisiche, chimiche, idrologiche e biologiche idonee a garantire, nel tempo, lo sviluppo della vegetazione prevista e il recupero delle principali funzioni ecosistemiche del suolo.

Coerentemente con quanto indicato dalle Linee Guida ISPRA 65.2/2010, l'obiettivo del ripristino non è quello di ricostruire immediatamente un suolo maturo e completamente evoluto, ma di

mettere in posto un suolo in uno stato iniziale tecnicamente idoneo, capace di evolvere progressivamente verso condizioni di equilibrio. Tale evoluzione dovrà avvenire attraverso la colonizzazione da parte degli apparati radicali, della microflora, della fauna edafica e dei microrganismi del suolo, fino al raggiungimento di un assetto stabile, resiliente ai fenomeni degradativi e in grado di svolgere le proprie funzioni ambientali.

La definizione del suolo obiettivo è stata effettuata sulla base delle informazioni disponibili per il contesto territoriale di riferimento, desunte sia da fonti bibliografiche e cartografiche ufficiali, tra cui la Carta dei Suoli della Lombardia, sia dalle informazioni pedologiche disponibili per le aree limitrofe al sito di intervento. In particolare, sono stati considerati i principali caratteri dei suoli locali, quali: tessitura, profondità utile, drenaggio, permeabilità, presenza di scheletro, struttura, contenuto di sostanza organica, reazione del suolo, capacità di ritenzione idrica e attitudine al supporto della vegetazione**.**

Sulla base di tali elementi, il suolo obiettivo dovrà garantire una struttura in continuità pedologica ed ecosistemica con il contesto locale. Le aree a verde e le superfici destinate alle mitigazioni dovranno quindi essere progettate e realizzate come superfici pedologicamente funzionali, capaci di contribuire all'infiltrazione delle acque meteoriche, alla ritenzione idrica, al supporto degli apparati radicali, alla riattivazione biologica del suolo, allo stoccaggio di sostanza organica e carbonio e, più in generale, al recupero delle funzioni ecosistemiche proprie delle superfici permeabili. Per le superfici destinate alla compensazione, non essendo previsti interventi di asportazione o riporto di suolo, il criterio del suolo obiettivo è applicato come riferimento per la conservazione delle condizioni pedologiche esistenti e per la definizione di interventi vegetazionali coerenti con il contesto locale.

Dal punto di vista operativo, in applicazione delle indicazioni delle Linee Guida ISPRA 65.2/2010, prima della messa in posto del suolo dovrà essere predisposta la morfologia definitiva delle aree interessate. Dovranno pertanto essere verificate le quote finali, le pendenze, i raccordi con le superfici limitrofe e l'eventuale necessità di opere di drenaggio o regimazione delle acque meteoriche. La ricostituzione del suolo dovrà avvenire solo dopo il completamento delle lavorazioni morfologiche principali, evitando che successivi transiti di mezzi, livellamenti o movimentazioni possano compromettere la struttura del materiale pedologico già collocato.

La messa in posto dovrà prevedere una sequenza funzionale degli strati, evitando miscelazioni improprie tra materiali terrosi con caratteristiche differenti. Gli eventuali orizzonti superficiali precedentemente scoticati e accantonati dovranno essere ricollocati rispettandone, per quanto tecnicamente possibile, l'ordine originario. Il materiale maggiormente fertile, strutturato e ricco di sostanza organica dovrà essere destinato allo strato superficiale, mentre i materiali a minore grado di evoluzione potranno essere impiegati negli strati inferiori, purché compatibili dal punto di vista fisico, idrologico e agronomico.

Il materiale destinato allo strato superficiale dovrà essere costituito preferibilmente da terreno pedogenizzato, privo di rifiuti, materiali inerti, residui di demolizione, frazioni grossolane eccessive, contaminazioni o elementi estranei alla matrice naturale del suolo. Dovrà inoltre presentare caratteristiche idonee allo sviluppo della vegetazione prevista, con particolare riferimento alla fertilità fisica, alla stabilità strutturale, alla capacità di infiltrazione e alla sufficiente porosità per l'aerazione e l'approfondimento radicale.

Il ricorso a materiale non pedogenizzato, ossia derivante prevalentemente da disgregazione fisica del substrato, potrà essere ammesso esclusivamente per gli strati inferiori del profilo ricostituito o nei casi in cui il suolo obiettivo presenti profondità limitate. Tale materiale dovrà comunque essere valutato preventivamente, al fine di escludere condizioni sfavorevoli quali eccessiva compattazione, bassa permeabilità, comportamento idrologico non idoneo o incompatibilità con lo sviluppo degli apparati radicali. Particolare attenzione dovrà essere posta alla preparazione dello strato di contatto tra il sottofondo e il materiale terroso ricollocato. Qualora il piano di posa sia stato interessato da passaggi di mezzi di cantiere, compattazioni o lavorazioni che ne abbiano ridotto la porosità, esso dovrà essere preventivamente scarificato, decompattato o lavorato in profondità. Tale accorgimento è necessario per evitare la formazione di discontinuità fisiche o idrologiche alla base del suolo ricostituito, che potrebbero determinare ristagni idrici, riduzione dell'infiltrazione, peggioramento del drenaggio e limitazioni all'approfondimento radicale.

Le operazioni di messa in posto dovranno essere effettuate con macchine idonee, preferibilmente leggere e con buona ripartizione del carico, limitando il più possibile il numero di passaggi sulle superfici già sistemate. In coerenza con le cautele operative richiamate dalle Linee Guida ISPRA 65.2/2010, le lavorazioni dovranno essere eseguite in condizioni di umidità del terreno compatibili con la conservazione della struttura. Dovrà essere evitato l'intervento su materiali bagnati, plastici o facilmente deformabili, in particolare in condizioni assimilabili a valori di tensione dell'acqua nel suolo indicativamente inferiori a **pF[1] 1,8–2**, poiché tali condizioni aumentano il rischio di compattazione, destrutturazione, riduzione della permeabilità e formazione di strati induriti non idonei allo sviluppo radicale.

Qualora le caratteristiche del materiale disponibile non risultino pienamente coerenti con il suolo obiettivo, potranno essere previsti interventi di correzione e miglioramento mediante miscelazione controllata con materiali terrosi compatibili, ammendanti organici maturi e, ove necessario, concimazioni di fondo. Tali interventi dovranno essere eseguiti prima della stesa definitiva del terreno, in modo da garantire omogeneità del materiale e limitare successive rilavorazioni. L'apporto di sostanza organica dovrà essere finalizzato al miglioramento della fertilità fisica e biologica del suolo, evitando tuttavia eccessivi affinamenti della matrice, amminutamenti spinti o ripetuti passaggi di mezzi, che potrebbero determinare perdita di struttura e incremento della compattazione.

Nelle aree caratterizzate da pendenze, raccordi morfologici, scarpate o superfici potenzialmente soggette a ruscellamento, la realizzazione del suolo obiettivo dovrà essere accompagnata da specifici **accorgimenti antierosivi**. Potranno essere previsti, in funzione delle condizioni locali, modellazione controllata delle superfici, riduzione delle lunghezze di deflusso, regimazione delle acque superficiali, tempestivo inerbimento, pacciamatura o altre tecniche di protezione dello strato superficiale. Tali misure sono necessarie per evitare la perdita del materiale fertile, il dilavamento della sostanza organica e la riduzione della funzionalità pedologica nelle fasi iniziali successive al ripristino. Il suolo obiettivo dovrà pertanto configurarsi come un profilo pedologico tecnicamente ricostituito, idoneo allo sviluppo della vegetazione di progetto e coerente con le caratteristiche dei suoli presenti nel contesto locale. Le principali prestazioni attese riguardano il

[1] Il **pF** è un indice dello stato idrico del suolo: valori bassi indicano terreno molto umido e più suscettibile a compattazione, perdita di struttura e riduzione della permeabilità durante le lavorazioni.

supporto agli **apparati radicali**, la capacità di **infiltrazione** e **ritenzione** delle acque meteoriche, la riattivazione della componente **biologica del suolo**, l'accumulo di **sostanza organica**, il contributo allo **stoccaggio del carbonio**, la mitigazione microclimatica e il mantenimento delle funzioni ecosistemiche delle superfici permeabili.

In conclusione, secondo l'approccio indicato dalle Linee Guida ISPRA 65.2/2010, il suolo obiettivo costituisce il riferimento tecnico-operativo per la progettazione e la realizzazione delle aree verdi e compensative. Tali superfici non dovranno essere considerate come semplici aree rinverdite mediante apporto superficiale di terreno, ma come porzioni di suolo ricostituite secondo criteri pedologici, in grado di garantire nel tempo una effettiva continuità pedologica, idrologica ed ecosistemica con il sistema ambientale locale.

FIGURA 16: SCHEMA CONCETTUALE DEL SUOLO OBIETTIVO PER AREE A VERDE E MITIGAZIONE. IL PROFILO RICOSTITUITO INDIVIDUA GLI STRATI FUNZIONALI NECESSARI A GARANTIRE CONTINUITÀ PEDOLOGICA, IDROLOGICA ED ECOSISTEMICA CON IL CONTESTO LOCALE, SECONDO L'APPROCCIO DELLE LINEE GUIDA ISPRA 65.2/2010.

5. MISURE DI MITIGAZIONE E COMPENSAZIONE

5.1 MITIGAZIONE (3.955 M²)

Le misure di mitigazione previste dal progetto interessano una superficie complessiva di 3.955 m² e comprendono la realizzazione di fasce arborate e arbustive, aree a erbacee perenni e superfici a prato polifita, con l'obiettivo di ridurre l'impatto visivo dell'infrastruttura, migliorare la qualità ecologica del margine e ricostituire, ove possibile, alcune delle funzioni ecosistemiche compromesse dalla trasformazione e dall'impermeabilizzazione del suolo. La configurazione delle opere a verde, così come descritta nell'Allegato 18 - Strategia del verde , è stata definita in relazione alle caratteristiche ambientali e paesaggistiche del contesto e tiene conto delle indicazioni formulate dal Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE) nell'ambito di precedenti procedure di Valutazione di Impatto Ambientale relative a progetti analoghi, con particolare riferimento alla richiesta di integrazione del 22/01/2026 relativa al progetto ML5/6. Tali indicazioni sono state pertanto considerate già in fase di progettazione, al fine di definire fin dall'origine un sistema di mitigazione adeguatamente strutturato sotto il profilo paesaggistico ed ecologico.

La componente arborea prevede la messa a dimora di 78 nuovi esemplari nelle porzioni est e ovest del lotto, appartenenti a specie prevalentemente autoctone e compatibili con le condizioni ambientali locali, tra cui *Carpinus betulus, Fraxinus ornus, Tilia cordata e Quercus pubescens*. La scelta di specie caratterizzate da differenti esigenze ecologiche e caratteristiche morfologiche è finalizzata alla formazione di una struttura vegetazionale diversificata e resiliente, capace di contribuire alla schermatura dell'intervento, alla regolazione microclimatica e all'incremento della biodiversità locale.

A completamento della componente arborea è prevista la formazione di una fascia arbustiva pluristratificata costituita da specie autoctone o da essenze consolidate nel paesaggio agrario lombardo, selezionate anche in coerenza con gli indirizzi del Parco Agricolo Sud Milano. La compresenza di specie con differenti portamenti, densità e sviluppo consente di ottenere una fascia vegetale articolata e maggiormente naturaliforme, in grado di svolgere contemporaneamente funzioni di schermatura, connessione ecologica e protezione del suolo. Lo sviluppo degli apparati radicali, unitamente alla produzione di biomassa e lettiera, contribuisce infatti alla stabilizzazione superficiale del terreno e al progressivo arricchimento della componente organica del suolo.

Le aree destinate alle erbacee perenni sono progettate secondo criteri riconducibili all'Ecological Plant Design, attraverso l'impiego di miscugli differenziati in funzione delle condizioni di esposizione e finalizzati alla formazione di comunità vegetali stabili, diversificate e a ridotta esigenza manutentiva. Particolare attenzione viene riservata alla preparazione del substrato, che costituisce un elemento determinante per il corretto attecchimento e sviluppo della vegetazione. Per tali superfici è previsto uno specifico top soil tecnico dello spessore di circa 10 cm, costituito indicativamente dal 94% in peso di sabbia silicea, dal 3% di compost verde e dal 3% di zeolite, così da garantire adeguate condizioni di drenaggio e aerazione radicale, un apporto controllato di sostanza organica e una sufficiente capacità di ritenzione idrica.

Le superfici destinate a prato saranno invece sistemate mediante un prato polifita costituito da specie erbacee autoctone, selezionate in funzione della compatibilità con le condizioni

pedoclimatiche locali. Tale copertura, oltre a favorire l'integrazione paesaggistica e la diversificazione floristica, svolge una funzione diretta di protezione e stabilizzazione del terreno, limitando i fenomeni erosivi e contribuendo all'infiltrazione delle acque meteoriche e alla riduzione del ruscellamento superficiale. La presenza di apparati radicali differenziati consente inoltre una più efficace esplorazione dei diversi strati di suolo e una maggiore capacità della copertura vegetale di rispondere alle variazioni stagionali della disponibilità idrica.

Dal punto di vista pedologico, particolare rilevanza assume infine la gestione del terreno vegetale durante le attività di cantiere. I primi 30 cm di suolo fertile saranno preventivamente asportati e gestiti separatamente dagli altri materiali di scavo, al fine di conservarne le caratteristiche agronomiche, biologiche e di fertilità naturale e consentirne il successivo riutilizzo nelle opere di sistemazione finale. Il terreno sarà temporaneamente stoccato all'interno dell'area di intervento in cumuli di altezza contenuta, opportunamente conformati e inerbiti, così da limitare fenomeni di compattazione, anossia, erosione e insediamento di specie alloctone invasive. Tale modalità di gestione permette di preservare la componente superficiale più fertile del suolo e di reintegrarla nelle aree oggetto di sistemazione a verde, contribuendo al ripristino delle condizioni pedologiche funzionali allo sviluppo della vegetazione di progetto.

5.2 COMPENSAZIONE (18.848 M²)

L'intervento compensativo interessa due aree distinte localizzate in corrispondenza del Fontanile Cagapes, rispettivamente nella porzione nord e nella porzione sud, per una superficie complessiva pari a 18.848 m². Gli interventi sono finalizzati alla riqualificazione ecologica delle formazioni vegetazionali esistenti, al rafforzamento della componente autoctona e al miglioramento della continuità e della funzionalità ecologica del sistema del fontanile. Le azioni previste comprendono interventi di rinfoltimento, completamento, riqualificazione e valorizzazione delle formazioni vegetazionali esistenti, il contenimento delle specie esotiche invasive, la riqualificazione della vegetazione ripariale e la realizzazione di elementi di rifugio per la fauna mediante il riutilizzo del materiale legnoso derivante dalle operazioni selvicolturali.

La porzione nord del Fontanile Cagapes presenta attualmente una struttura arboreo-arbustiva complessivamente ben conservata e caratterizzata da una buona eterogeneità floristica. La vegetazione esistente è costituita prevalentemente da specie autoctone riconducibili alle formazioni tipiche della pianura padana e degli ambienti ripariali, tra cui farnia, carpino bianco, acero campestre, salice bianco, ontano nero, frassino maggiore e ciliegio selvatico, accompagnate da uno strato arbustivo diversificato. La presenza di robinia risulta invece limitata e localizzata. In tale settore l'intervento assume pertanto prevalentemente carattere di potenziamento e completamento della formazione esistente, attraverso la sostituzione delle fallanze e la messa a dimora di specie autoctone coerenti con le caratteristiche ecologiche e stazionali dell'area.

Le misure previste per la porzione nord comprendono inoltre il mantenimento e la valorizzazione della necromassa e la realizzazione di cataste e strutture in legno morto, anche mediante il riutilizzo del materiale derivante dai tagli. Tali elementi consentono di incrementare la disponibilità di microhabitat e rifugi per la micro- e mesofauna, con particolare riferimento all'entomofauna, integrando la funzione vegetazionale con ulteriori elementi utili alla diversificazione ecologica dell'area. L'impostazione dell'intervento è quindi orientata alla

conservazione degli elementi di maggiore qualità già presenti, limitando le trasformazioni non necessarie e favorendo l'evoluzione della formazione verso una struttura maggiormente complessa e stabile.

La porzione sud si inserisce invece in un contesto maggiormente antropizzato, compreso tra aree produttive, residenziali e infrastrutture viarie. In questo tratto la vegetazione arborea risulta fortemente caratterizzata dalla presenza della robinia, spesso dominante e accompagnata localmente da esemplari filati o deperienti; sono inoltre segnalate altre specie esotiche invasive, tra cui l'ailanto, nonché vegetazione ruderale. Nonostante tali condizioni, l'area conserva un interesse ambientale legato alla presenza del fontanile e delle relative fasce vegetate, che costituiscono elementi di diversificazione all'interno di un tessuto territoriale fortemente frammentato.

Gli interventi previsti nella porzione sud comprendono pertanto il taglio selettivo delle specie invasive e la sostituzione degli individui eliminati mediante specie arboree e arbustive autoctone, con particolare riferimento alle formazioni mesofile e igrofile caratteristiche degli ambienti di testa e asta dei fontanili, quali salici e ontani. Sono inoltre previsti sfollamenti, diradamenti e tagli di miglioramento e rinnovazione, finalizzati ad aumentare la complessità floristica e strutturale della formazione e a favorire lo sviluppo dello strato arbustivo e del sottobosco.

In corrispondenza dell'asta del fontanile è prevista anche la pulizia e la riqualificazione delle sponde, mediante la rimozione selettiva della vegetazione infestante e degli eventuali ostacoli al regolare deflusso delle acque, accompagnata, ove necessario, da interventi localizzati di sistemazione delle sponde. Anche in questo settore una parte del materiale legnoso sarà mantenuta in sito sotto forma di cataste e rifugi seminaturali, mentre ulteriore materiale derivante dai tagli potrà essere riutilizzato per incrementare la disponibilità di rifugi per la fauna.

Nel complesso, gli interventi previsti nelle due aree di compensazione sono orientati alla conservazione e al potenziamento delle componenti vegetazionali di maggiore interesse, alla progressiva sostituzione delle specie esotiche invasive con specie autoctone e alla valorizzazione del sistema ripariale del Fontanile Cagapes. La differente impostazione delle opere nelle porzioni nord e sud risponde alle specifiche condizioni attuali dei due ambiti: prevalentemente conservativa e di completamento nella porzione nord, maggiormente orientata alla riqualificazione e alla ricostituzione della vegetazione autoctona nella porzione sud. Nel loro insieme, tali interventi concorrono al miglioramento della qualità ecologica e paesaggistica del fontanile e al rafforzamento della continuità degli elementi naturali presenti nel contesto periurbano.

Considerato che gli interventi interessano formazioni vegetazionali già esistenti, il contributo incrementale delle compensazioni allo stoccaggio del carbonio è valutato nel paragrafo 6.2.1 mediante un approccio parametrico cautelativo basato su una superficie equivalente di calcolo, evitando di attribuire uniformemente l'incremento all'intera superficie di 18.848 m².

5.3 MONITORAGGIO PEDOLOGICO ED ECOSISTEMICO

In ottemperanza alla richiesta 18.3, le aree interessate dagli interventi di compensazione saranno oggetto di monitoraggio pedologico ed ecosistemico finalizzato a verificare nel tempo l'effettiva evoluzione delle condizioni ambientali conseguenti agli interventi previsti. Il monitoraggio comprenderà la predisposizione di punti fotografici fissi e georeferenziati,

individuati in modo da rappresentare adeguatamente la variabilità delle aree sotto il profilo morfologico, vegetazionale e pedologico e tali da consentire la ripetizione delle riprese nei successivi controlli. Le verifiche saranno rivolte, in particolare, allo stato di attecchimento e sviluppo della vegetazione, all'evoluzione della copertura arboreo-arbustiva, alla presenza e diffusione delle specie esotiche invasive, alle condizioni superficiali del suolo e all'eventuale insorgenza di fenomeni di compattazione, erosione o degrado. Gli esiti saranno documentati mediante restituzione fotografica georeferenziata e confronto con le condizioni iniziali.

6. BILANCIO DEI SERVIZI ECOSISTEMICI

La valutazione del bilancio dei servizi ecosistemici rappresenta un passaggio fondamentale per comprendere in modo approfondito gli effetti complessivi dell'intervento sul capitale naturale. A differenza delle analisi settoriali, che considerano singole componenti ambientali in maniera isolata, il bilancio ecosistemico permette di ricostruire una visione d'insieme integrata, nella quale il territorio è interpretato come un sistema complesso, caratterizzato da interazioni tra processi fisici, biologici e socio-economici.

In questa prospettiva, la presente sezione integra un insieme strutturato di tabelle quantitative che confrontano lo stato ante-operam e post-operam dei principali servizi ecosistemici, distinguendo chiaramente tra:

- condizioni pre-esistenti (ante operam), riferite alle superfici permeabili e vegetate presenti nel lotto, caratterizzate dal punto di vista pedologico assumendo quale riferimento, per analogia e prossimità, l'Unità Cartografica CIC1/ZIT1;
- condizioni post-intervento in situ, cioè relative alle superfici impermeabilizzate e alle aree di mitigazione verde;
- condizioni post-intervento fuori sito, che descrivono i benefici prodotti dall'intervento compensativo di 1,88 ettari.

L'obiettivo dell'analisi comparativa è quello di rappresentare in forma quantitativa e semiquantitativa la perdita, la trasformazione e il potenziale recupero delle principali funzioni ecosistemiche associate al suolo e alla vegetazione.

I valori e i criteri utilizzati fanno riferimento alla letteratura tecnica e scientifica richiamata nella bibliografia finale, con particolare riferimento al Rapporto SNPA 2024 sul consumo di suolo e i servizi ecosistemici, alle Linee Guida SNPA 28/2020 quale riferimento generale per la valutazione di impatto ambientale, alle fonti IPCC per il carbonio e ai riferimenti FAO e USDA per gli aspetti pedologici e idrologici.

I coefficienti e i parametri utilizzati nella valutazione sono stati adattati alle caratteristiche pedologiche assunte quale riferimento per il sito, riconducibili per analogia e prossimità all'Unità CIC1/ZIT1, nonché alle effettive condizioni di uso e copertura del suolo rilevate nello stato ante operam. Tale impostazione consente di distinguere la potenzialità funzionale propria della risorsa pedologica dalle condizioni reali del lotto, che risulta già caratterizzato da un elevato grado di artificializzazione e dalla presenza di superfici permeabili e vegetate limitate rispetto alla superficie complessiva.

Oltre agli aspetti strettamente quantitativi, il bilancio dei servizi ecosistemici assume un valore interpretativo più ampio, poiché consente di comprendere come il progetto modifichi il funzionamento ambientale del territorio nel suo complesso. La perdita di servizi ecosistemici nelle superfici di nuova impermeabilizzazione non rappresenta infatti soltanto una variazione numerica degli indicatori biofisici, ma determina una riduzione permanente delle funzioni proprie del suolo nelle aree direttamente trasformate.

A tale perdita si contrappongono, con modalità e tempi differenti, gli effetti delle opere di mitigazione previste all'interno del sito e degli interventi di compensazione localizzati presso il Fontanile Cagapes. Le mitigazioni consentono di mantenere e qualificare le superfici permeabili

post operam mediante sistemi vegetazionali arborei, arbustivi ed erbacei, mentre le compensazioni interessano complessivamente 18.848 m² di formazioni vegetazionali già esistenti, sottoposte a interventi di valorizzazione e miglioramento ecologico.

Nella porzione nord del Fontanile Cagapes gli interventi assumono prevalentemente carattere conservativo e di completamento, attraverso il potenziamento della componente arboreo-arbustiva autoctona, la sostituzione delle fallanze e la valorizzazione della necromassa. Nella porzione sud, caratterizzata da una maggiore presenza di specie esotiche invasive e da condizioni vegetazionali meno strutturate, gli interventi risultano maggiormente orientati alla riqualificazione forestale e ripariale, al contenimento delle specie invasive e al progressivo rafforzamento della vegetazione autoctona.

Il bilancio ecosistemico non deve pertanto essere interpretato come il passaggio da un sistema agricolo a un nuovo ecosistema forestale, ma come il confronto tra una perdita localizzata di funzionalità pedologica all'interno del sito, il miglioramento qualitativo delle superfici permeabili post operam attraverso le opere di mitigazione e il potenziamento di sistemi vegetazionali già presenti nelle aree di compensazione. I benefici associati a tali interventi assumono carattere progressivo e risultano maggiormente apprezzabili nel medio-lungo periodo, in relazione alla maturazione delle sistemazioni vegetazionali e all'evoluzione ecologica delle aree interessate.

La lettura combinata delle tabelle e delle analisi presentate nelle sezioni successive consente quindi di valutare l'efficacia delle misure previste e di comprendere in quale misura il nuovo assetto sia in grado di conservare, recuperare o incrementare nel tempo i principali servizi ecosistemici, pur permanendo il carattere irreversibile della perdita di suolo nelle superfici direttamente impermeabilizzate.

6.1 TABELLA ANALITICA DEI SERVIZI ECOSISTEMICI – CONFRONTO ANTE/POST OPERAM

La tabella che segue sintetizza in forma analitica i risultati della valutazione dei principali servizi ecosistemici, mettendo a confronto lo stato ante operam, lo stato post operam all'interno del sito e il contributo fornito dalle misure di compensazione esterne.

In particolare, la valutazione considera le condizioni preesistenti del lotto, gli effetti della riduzione delle superfici permeabili e delle opere di mitigazione previste in sito, nonché il miglioramento funzionale associato agli interventi di compensazione individuati nelle porzioni nord e sud del Fontanile Cagapes, per una superficie complessiva pari a 18.848 m².

Le aree di compensazione non sono assimilabili alla realizzazione ex novo di un bosco su superfici prive di vegetazione, ma sono costituite da formazioni vegetazionali già esistenti sulle quali vengono attuati interventi di valorizzazione forestale, rafforzamento della componente autoctona, contenimento delle specie esotiche invasive e riqualificazione della vegetazione ripariale. L'entità del miglioramento atteso varia in funzione dello stato attuale delle due aree, risultando prevalentemente conservativo e di completamento nella porzione nord e maggiormente orientato alla riqualificazione nella porzione sud.

La rappresentazione tabellare costituisce pertanto uno strumento per comprendere in modo immediato e sistematico come la trasformazione del suolo, le opere di mitigazione e gli interventi di compensazione modifichino la capacità del sistema ambientale di erogare servizi quali

regolazione idrologica, stoccaggio del carbonio, biodiversità, protezione del suolo e funzionalità paesaggistica.

La costruzione della tabella si basa su un approccio metodologico integrato che combina le informazioni pedologiche assunte quale riferimento per analogia e prossimità, parametri biofisici desunti dalla letteratura e criteri di valutazione dei servizi ecosistemici, distinguendo tra perdita permanente nelle superfici impermeabilizzate, mantenimento e miglioramento qualitativo delle superfici permeabili post operam e recupero funzionale progressivo nelle aree di compensazione.

I valori riportati devono essere interpretati come stime rappresentative delle dinamiche ecologiche analizzate e non come un semplice saldo aritmetico tra perdite e benefici. Le superfici impermeabilizzate subiscono infatti una perdita permanente delle funzioni pedologiche, mentre gli effetti positivi delle mitigazioni e delle compensazioni si sviluppano progressivamente nel tempo e dipendono dalla maturazione della vegetazione e dall'evoluzione ecologica degli ambiti interessati.

Servizio ecosistemico	**Indicatore analitico**	**Ante operam**	**Post operam (in sito)**	**Post operam (compensazione)**	**Bilancio complessivo**
Regolazione idrologica	Capacità di infiltrazione (mm/h)	90–120	20–40	120–160	Parzialmente compensato; miglioramento prevalente fuori sito
	Capacità di ritenzione idrica (mm)	150–180	40–80	180–220	Parziale recupero nel medio-lungo periodo
Regolazione idrologica Stoccaggio del carbonio	Runoff (%)	10–15	85–95	20–30	Miglioramento fuori sito
	Stock C suolo	Presente nelle superfici permeabili	Perso nelle superfici impermeabilizzate	Incremento progressivo dello stock nelle formazioni vegetazionali riqualificate	Potenziale compensazione della perdita funzionale a maturità; bilancio parametrico complessivo del servizio compreso tra circa +0,3 e +23,8 t C.
Stoccaggio del carbonio Biodiversità	Stock C vegetazione	Moderato e localizzato nelle superfici verdi esistenti	Incremento progressivo per effetto delle nuove alberature, fasce	Incremento significativo con il miglioramento delle formazioni arboreo-arbustive	Incremento atteso nel medio-lungo periodo

Servizio ecosistemico	Indicatore analitico	Ante operam	Post operam (in sito)	Post operam (compensazione)	Bilancio complessivo
			arbustive ed erbacee		
	Indice Shannon H’	0,8–1,1	1,1–1,4	1,5–1,8	Miglioramento complessivo nel medio-lungo periodo
Biodiversità Protezione dall’erosione	Copertura vegetale (%)	Circa 26,84% del lotto (8.031 m² permeabili)	Circa 13,22% del lotto (3.955 m² permeabili)	Progressivamente elevata nelle aree riqualificate	Riduzione quantitativa in sito e miglioramento qualitativo fuori sito
	Stabilità degli aggregati del suolo	Media nelle superfici permeabili	Bassa nelle aree trasformate	Media–alta	Recupero parziale ma significativo
Protezione dall’erosione	Vulnerabilità all’erosione superficiale	Bassa–media nelle superfici vegetate	Media nelle superfici permeabili post operam	Bassa	Recupero funzionale significativo fuori sito

6.2 APPROFONDIMENTO QUANTITATIVO

Gli approfondimenti che seguono rappresentano un passaggio centrale dell'intera valutazione ambientale, poiché consentono di rappresentare attraverso indicatori quantitativi e semiquantitativi confrontabili le funzioni ecosistemiche che caratterizzano il territorio nelle condizioni ante-operam e le loro trasformazioni a seguito dell'intervento.

Questa sezione nasce dall'esigenza, evidenziata dagli enti competenti, di integrare lo Studio di Impatto Ambientale con una quantificazione chiara, strutturata e metodologicamente fondata dei principali servizi ecosistemici erogati dal suolo e dalla vegetazione locale. Le valutazioni quantitative e semiquantitative sviluppate nei paragrafi successivi combinano:

- le informazioni pedologiche disponibili per l'Unità Cartografica CIC1/ZIT1, assunta quale riferimento per analogia e prossimità con le aree limitrofe cartografate;
- parametri e intervalli indicativi desunti dalla letteratura tecnica e scientifica;
- le effettive condizioni di uso e copertura del suolo nello stato ante e post operam;
- la distinzione tra perdita permanente nelle superfici impermeabilizzate, mantenimento e miglioramento delle superfici permeabili in sito e recupero funzionale progressivo nelle aree di compensazione.

I valori riportati devono pertanto essere interpretati come stime parametriche finalizzate al confronto tra gli scenari e non come risultati di misure sperimentali effettuate direttamente nell'area di intervento.

6.2.1 STIMA DELLO STOCK DI CARBONIO

La stima dello stock di carbonio organico associato ai suoli e alla vegetazione è stata condotta secondo un approccio combinato che integra fonti internazionali, nazionali e locali, in coerenza con il quadro metodologico e bibliografico richiamato nella presente relazione.

L'obiettivo è stimare, mediante un approccio parametrico e cautelativo, la quantità di carbonio associata agli ecosistemi prima dell'intervento (ante operam) e quella potenzialmente recuperabile attraverso le misure di mitigazione e compensazione previste (post operam).

La procedura si basa su tre gruppi principali di fonti:

<u>Fonti scientifiche internazionali</u>

IPCC 2006 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – Vol.4 Agriculture, Forestry and Other Land Use, che fornisce i fattori di conversione carbonio/CO_2 e gli intervalli tipici di stock di carbonio per diverse tipologie di uso del suolo e condizioni pedoclimatiche.

FAO & ITPS (2015), assunto quale riferimento generale per l'inquadramento del carbonio organico e delle funzioni associate alla sostanza organica nei suoli.

<u>Fonti nazionali</u>

SNPA (2024), assunto quale riferimento nazionale per l'inquadramento del consumo di suolo e delle relative variazioni dei servizi ecosistemici.

Linee Guida SNPA 28/2020, assunte quale riferimento generale per l'impostazione e la valutazione degli Studi di Impatto Ambientale.

Fonti locali

La descrizione pedologica dell'Unità Cartografica CIC1/ZIT1, desunta dalla Banca Dati Suoli LOSAN di ERSAF Lombardia e assunta quale riferimento per analogia e prossimità, evidenzia la presenza di suoli generalmente profondi e caratterizzati da una buona capacità di supporto alla vegetazione. Le componenti di riferimento presentano caratteristiche tessiturali differenziate, prevalentemente franco-sabbiose per CIC e franche per ZIT, con drenaggio generalmente buono e proprietà idrologiche variabili in funzione del profilo e della posizione morfologica. Tali caratteristiche risultano compatibili con la presenza e l'accumulo di sostanza organica nel profilo; la relativa quantificazione viene pertanto sviluppata nel seguito mediante un approccio parametrico, in assenza di determinazioni analitiche sito-specifiche dello stock di carbonio.

Procedura di calcolo adottata

Stima dello stock di carbonio ANTE OPERAM

Ai fini della valutazione della perdita funzionale del servizio ecosistemico di stoccaggio del carbonio, viene considerata la superficie permeabile ante operam direttamente interessata dalla nuova impermeabilizzazione, pari a 4.075 m². Tale superficie corrisponde all'intersezione tra le aree permeabili nello stato ante operam e le aree impermeabili previste nello stato post operam e rappresenta pertanto la porzione nella quale viene permanentemente compromessa la funzionalità pedologica in situ.

In assenza di determinazioni analitiche sito-specifiche dello stock di carbonio organico, viene assunto, in via parametrica e cautelativa, un intervallo compreso tra 4 e 6 kg C/m², coerente con le caratteristiche pedologiche assunte quale riferimento per il sito.

Lo stock di carbonio potenzialmente presente nella superficie interessata dalla trasformazione viene pertanto stimato come segue:

Stock C = Area × Stock medio

4.075 m² × 4–6 kg C/m² = 16.300–24.450 kg C

pari a circa 16,3–24,5 t C.

Tale intervallo rappresenta lo stock parametrico di carbonio associato al suolo permeabile ante operam direttamente interessato dal nuovo consumo di suolo definitivo e costituisce il riferimento per la valutazione della perdita funzionale del servizio di stoccaggio del carbonio nelle superfici successivamente impermeabilizzate.

Stima dello stock di carbonio POST OPERAM – Aree impermeabilizzate

Nello scenario post operam, i 4.075 m² considerati nel calcolo risultano interessati da nuova impermeabilizzazione. In tali superfici viene meno la capacità del suolo di svolgere attivamente il servizio ecosistemico di stoccaggio e sequestro del carbonio, in quanto la sigillatura interrompe gli scambi con l'atmosfera, limita l'attività biologica e impedisce il normale apporto e accumulo di nuova sostanza organica.

Ai fini della presente valutazione del servizio ecosistemico, lo stock funzionalmente disponibile nelle superfici impermeabilizzate viene pertanto assunto pari a zero. Tale assunzione è riferita alla funzionalità ecosistemica del suolo nella superficie impermeabilizzata e non implica la

distruzione fisica integrale del carbonio organico originariamente presente nel terreno. Come previsto dalle modalità di gestione del suolo di cantiere, lo strato superficiale fertile sarà infatti preventivamente scoticato, gestito separatamente e, per quanto tecnicamente utilizzabile, reimpiegato nelle sistemazioni finali. Il trasferimento e il rimaneggiamento del terreno possono modificare nel tempo lo stock organico, ma tali variazioni non sono quantificabili in assenza di determinazioni analitiche sito-specifiche.

La variazione dello stock associata alla trasformazione risulta quindi:

ΔC = Stock post operam − Stock ante operam

$\Delta C = 0 - 16{,}3–24{,}5$ t C

pari a una perdita funzionale equivalente del servizio di stoccaggio del carbonio in situ compresa tra −16,3 e −24,5 t C

Tale valore è riferito esclusivamente ai 4.075 m² di superficie permeabile ante operam direttamente interessata dalla nuova impermeabilizzazione e rappresenta una perdita funzionale equivalente ai fini del bilancio ecosistemico, non una stima della quantità di carbonio fisicamente distrutta o emessa in atmosfera.

<u>Stima dello stock di carbonio associato agli esemplari arborei oggetto di abbattimento</u>

Nell'ambito della presente valutazione è stata inoltre considerata, separatamente dal bilancio quantitativo principale, la componente di carbonio associata alla biomassa degli esemplari arborei oggetto di abbattimento nell'area di progetto e nelle immediate adiacenze interessate dalle opere. Sulla base del censimento arboreo disponibile risultano complessivamente interessati 31 esemplari, appartenenti prevalentemente ai generi Platanus, Quercus, Metasequoia, Gleditsia, Aesculus, Acer e Betula. Per tali esemplari risultano disponibili l'altezza complessiva e il diametro medio della chioma, mentre non sono disponibili, per l'intero campione, misure dendrometriche omogenee del diametro del fusto a 1,30 m.

Al fine di fornire un ordine di grandezza dello stock di carbonio interessato, è stata pertanto effettuata una stima parametrica della biomassa epigea mediante le relazioni allometriche proposte da Jucker et al. (2017), sviluppate specificamente per la stima della biomassa arborea a partire dall'altezza dell'albero e dal diametro della chioma. Il modello deriva da un database globale comprendente oltre 108.000 alberi, dei quali 2.395 sottoposti a determinazione diretta della biomassa epigea, e prevede relazioni differenziate per angiosperme e gimnosperme.

L'applicazione delle relazioni allometriche ai 31 esemplari considerati restituisce una biomassa epigea secca complessiva stimata pari a circa 10,1 t. Per la conversione della biomassa secca in carbonio è stata assunta una frazione di carbonio pari a 0,47 t C per t di sostanza secca, coerente con il valore di riferimento IPCC per la biomassa epigea forestale. Ne deriva uno stock parametrico complessivo pari a circa 4,7 t C, corrispondente indicativamente a circa 17,4 t CO_2eq applicando il fattore stechiometrico di conversione 1 t C = 3,667 t CO_2eq.

Tale valore non viene incluso nel bilancio quantitativo complessivo del servizio ecosistemico di stoccaggio del carbonio sviluppato nel seguito, ma viene riportato quale informazione integrativa. La stima è infatti basata su relazioni allometriche applicate alle informazioni dimensionali disponibili e non su misure dendrometriche complete e sito-specifiche; considera inoltre esclusivamente la biomassa epigea, senza includere la componente radicale. La rimozione

degli esemplari non può inoltre essere assimilata automaticamente all'emissione immediata in atmosfera dell'intero stock di carbonio precedentemente immobilizzato nella biomassa, in quanto la successiva dinamica del carbonio dipende anche dalla destinazione e dalle modalità di gestione del materiale legnoso derivante dagli abbattimenti. Il bilancio quantitativo sviluppato nel seguito non costituisce pertanto un bilancio esaustivo dello stock complessivo di carbonio dell'ecosistema, ma un indicatore parametrico del potenziale riequilibrio del servizio ecosistemico di stoccaggio del carbonio. La componente associata alla biomassa arborea esistente oggetto di abbattimento è trattata separatamente e non concorre al saldo parametrico principale.

Stima dello stock recuperabile tramite COMPENSAZIONE e MITIGAZIONE

Ai fini del bilancio parametrico principale del servizio ecosistemico di stoccaggio del carbonio, la stima dello stock di carbonio potenzialmente recuperabile è stata sviluppata considerando la perdita funzionale associata ai 4.075 m² di superficie permeabile ante operam direttamente interessata dalla nuova impermeabilizzazione, il contributo delle opere di mitigazione previste all'interno del sito e il miglioramento delle formazioni vegetazionali interessate dagli interventi di compensazione presso il Fontanile Cagapes. Lo stock associato alla biomassa degli esemplari arborei oggetto di abbattimento, stimato separatamente nel precedente approfondimento, non è incluso nel presente bilancio per le ragioni metodologiche sopra illustrate.

Per la superficie permeabile ante operam interessata dalla trasformazione è stato assunto uno stock di carbonio compreso tra 4 e 6 kg C/m². La perdita funzionale associata alla nuova impermeabilizzazione risulta pertanto pari a:

4.075 m² × 4–6 kg C/m² = 16.300–24.450 kg C

corrispondenti a circa 16,3–24,5 t C.

Le superfici permeabili post operam interessate dalle opere di mitigazione all'interno del sito ammontano complessivamente a 3.955 m² e comprendono una fascia arborea con 78 nuovi esemplari, una fascia arbustiva pluristratificata, aree a erbacee perenni e superfici a prato polifita. Il sistema vegetazionale previsto presenta pertanto una maggiore articolazione strutturale rispetto alla condizione di progetto priva delle opere di mitigazione e, con la progressiva maturazione degli impianti, potrà determinare un incremento sia dello stock di carbonio contenuto nella biomassa vegetale sia della sostanza organica del suolo.

Per la componente pedologica delle mitigazioni in sito viene assunto cautelativamente un incremento dello stock organico pari a circa 0,5–1,0 kg C/m², riconducibile principalmente all'accumulo di lettiera, allo sviluppo degli apparati radicali e al progressivo incremento della sostanza organica negli orizzonti superficiali. Il contributo corrispondente risulta pertanto stimabile in:

3.955 m² × 0,5–1,0 kg C/m² = 1.977,5–3.955 kg C.

A tale contributo si aggiunge lo stock progressivamente accumulabile nella biomassa delle nuove formazioni vegetali. Considerata la compresenza di alberature, arbusti, erbacee perenni e prato polifita, viene assunto un incremento medio equivalente, a maturità, pari a circa 1,0–2,0 kg C/m² sull'intera superficie permeabile interessata dalle opere di mitigazione:

3.955 m² × 1,0–2,0 kg C/m² = 3.955–7.910 kg C.

Il contributo incrementale complessivamente attribuibile alle mitigazioni interne al sito risulta pertanto pari a circa:

5.932,5–11.865 kg C, corrispondenti a circa 5,9–11,9 t C a maturità.

Per quanto riguarda le compensazioni esterne al sito, gli interventi interessano complessivamente una superficie pari a 18.848 m², distribuita nelle porzioni nord e sud del Fontanile Cagapes. Gli interventi previsti non consistono nella formazione ex novo di un soprassuolo forestale su superfici prive di vegetazione, bensì nel miglioramento di formazioni vegetazionali già esistenti, attraverso il potenziamento della componente arboreo-arbustiva autoctona, la sostituzione delle fallanze, il contenimento delle specie esotiche invasive e il miglioramento della struttura delle formazioni forestali e ripariali.

In considerazione della presenza di vegetazione già insediata e della conseguente necessità di evitare una sovrastima dei benefici ecosistemici, ai fini del presente bilancio non viene attribuito un incremento uniforme dello stock di carbonio all'intera superficie interessata dagli interventi. Ai fini della quantificazione dell'incremento dello stock di carbonio, il calcolo viene riferito alla quota di superficie effettivamente interessata da interventi in grado di determinare un incremento sostanziale della componente vegetazionale, quali sostituzione delle fallanze, nuovi inserimenti arboreo-arbustivi e interventi di riqualificazione strutturale delle formazioni esistenti. Sulla base dell'estensione complessiva di tali interventi, tale quota è stimata pari a circa il 10% della superficie complessivamente interessata dalla compensazione.

La superficie equivalente considerata ai fini del calcolo risulta pertanto pari a:

18.848 m² × 10% = 1.884,8 m², arrotondabili a circa 1.885 m².

Su tale superficie equivalente viene assunto, in termini parametrici e a maturità delle formazioni vegetali, un incremento complessivo dello stock di carbonio pari a circa 10–15 kg C/m². Tale valore comprende congiuntamente l'incremento potenziale della biomassa arborea e arbustiva e il progressivo accumulo di carbonio organico nel suolo nelle porzioni maggiormente interessate dal miglioramento vegetazionale.

Il contributo attribuibile agli interventi compensativi risulta quindi stimabile in:

1.884,8 m² × 10–15 kg C/m² = 18.848–28.272 kg C

pari a circa 18,8–28,3 t C a maturità.

L'utilizzo di tale superficie equivalente consente di attribuire l'incremento parametrico dello stock di carbonio alle sole porzioni nelle quali gli interventi previsti determinano un effettivo incremento della biomassa e della struttura vegetazionale, evitando di estendere il beneficio all'intera superficie compensativa, già in larga parte interessata da formazioni vegetazionali esistenti. L'approccio mantiene pertanto carattere cautelativo rispetto a una contabilizzazione uniforme dell'intera area di 18.848 m².

Complessivamente, le opere di mitigazione all'interno del sito e gli interventi di compensazione presso il Fontanile Cagapes possono pertanto determinare un incremento parametrico dello stock di carbonio compreso tra:

5.932,5–11.865 kg C + 18.848–28.272 kg C = 24.780,5–40.137 kg C

corrispondenti a circa 24,8–40,1 t C a maturità.

Considerando congiuntamente la perdita funzionale equivalente associata alle superfici di nuova impermeabilizzazione e gli incrementi parametrici attesi dalle opere di mitigazione e compensazione, il bilancio potenziale del servizio ecosistemico di stoccaggio del carbonio a maturità risulta pertanto compreso indicativamente tra:

24,7805 − 24,450 = +0,3305 t C e 40,137 − 16,300 = +23,837 t C

Il saldo complessivo risulta quindi compreso tra circa +0,3 e +23,8 t C.

L'intervallo ottenuto evidenzia come, nell'ambito delle ipotesi parametriche adottate, gli interventi di mitigazione e compensazione risultino potenzialmente in grado di compensare integralmente la perdita funzionale del servizio ecosistemico di stoccaggio del carbonio associata alla nuova impermeabilizzazione. Anche nello scenario maggiormente cautelativo il saldo risulta sostanzialmente in equilibrio, con un valore lievemente positivo, mentre nello scenario più favorevole, a piena maturità delle formazioni vegetali, si determina un incremento netto del servizio ecosistemico considerato.

Il risultato deve essere interpretato come un indicatore parametrico del potenziale riequilibrio del servizio ecosistemico di stoccaggio del carbonio nel medio-lungo periodo e non come un bilancio fisico di massa del carbonio movimentato durante le attività di cantiere. Il limite inferiore dell'intervallo deriva dal confronto tra l'incremento minimo stimato per mitigazioni e compensazioni e la perdita massima potenziale dello stock ante operam, mentre il limite superiore deriva dal confronto tra l'incremento massimo atteso e la perdita minima stimata.

Conversione Carbonio → CO_2 equivalente

Applicando il fattore stechiometrico di conversione:

1 t C = 3,667 t CO_2eq

l'intervallo parametrico del bilancio sopra determinato corrisponde indicativamente a:

+0,33 t C × 3,667 ≈ +1,2 t CO_2eq e +23,84 t C × 3,667 ≈ +87,4 t CO_2eq.

Il saldo equivalente risulta pertanto compreso indicativamente tra +1,2 e +87,4 t CO_2eq.

Tale conversione esprime esclusivamente l'equivalente in CO_2 dello stock di carbonio considerato nel bilancio del servizio ecosistemico e non rappresenta una quantificazione né una compensazione diretta delle emissioni di gas a effetto serra complessivamente associate alla costruzione o all'esercizio dell'opera.

Superficie / intervento	**Estensione (m²)**	**Stock / incremento C (kg/m²)**	**Stock / incremento totale (kg C)**	**Variazione**
Suolo permeabile ante operam interessato dalla nuova impermeabilizzazione	4.075	Da 4 a 6	Da 16.300 a 24.450	Da -16.300 a -24.450
Mitigazioni a verde in sito	3.955	Da +1,5 a +3,0	Da +5.932,5 a +11.865	Da +5.932,5 a +11.865
Compensazioni – Fontanile Cagapes nord e sud –	1.884,8	Da +10 a +15	Da +18.848 a 28.272	Da +18.848 a + 28.272

superficie equivalente di calcolo*				
Bilancio complessivo a maturità	–	–	–	Da +330,5 a +23.837

** La superficie complessivamente interessata dagli interventi compensativi è pari a 18.848 m². Ai fini della stima dell'incremento dello stock di carbonio, il calcolo è riferito alla quota di superficie interessata da sostituzioni, nuovi inserimenti e interventi di riqualificazione vegetazionale in grado di determinare un incremento sostanziale della biomassa, stimata complessivamente pari a circa il 10% dell'area, corrispondente a 1.884,8 m².*

6.2.2 VALUTAZIONE QUANTITATIVA DELLA CAPACITÀ IDROLOGICA

La valutazione quantitativa della capacità idrologica del suolo ante e post operam rappresenta un passaggio fondamentale dell'intero quadro valutativo, poiché consente di comprendere come la trasformazione del suolo influisca sui processi naturali di infiltrazione, ritenzione idrica e regolazione dei deflussi superficiali. La valutazione è stata sviluppata mediante un approccio comparativo basato sulle informazioni pedologiche disponibili per l'Unità Cartografica CIC1/ZIT1, assunta quale riferimento per analogia e prossimità, sulle condizioni di uso e copertura del suolo e su intervalli parametrici indicativi desunti dalla letteratura tecnica. Tali parametri sono utilizzati ai fini del confronto tra gli scenari ante operam, post operam e post-compensazione e non rappresentano risultati derivanti da prove o modellazioni idrologiche sito-specifiche.

I suoli riconducibili all'Unità Cartografica CIC1/ZIT1 costituiscono il riferimento pedologico assunto per l'interpretazione del comportamento idrologico dell'area. Le relative componenti presentano suoli generalmente profondi, con tessiture prevalentemente franco-sabbiose nella componente CIC e franche nella componente ZIT e con drenaggio generalmente buono. Le informazioni disponibili evidenziano tuttavia una variabilità delle caratteristiche idrologiche a scala di unità cartografica e di singola componente pedologica; non risulta pertanto opportuno attribuire al sito un unico valore di permeabilità in assenza di prove sito-specifiche.

Ai fini del presente studio, il comportamento idrologico viene quindi rappresentato attraverso intervalli parametrici indicativi, utilizzati esclusivamente per il confronto tra gli scenari ante operam, post operam e post-compensazione. Tali valori non devono essere interpretati come risultati di prove di permeabilità o infiltrazione effettuate direttamente nel sito.

Nel complesso, questi suoli contribuiscono in modo efficace alla regolazione idrologica locale, favorendo l'infiltrazione e la distribuzione dell'acqua nel profilo, limitando i deflussi superficiali e concorrendo, seppur in misura moderata, alla ricarica delle falde e alla mitigazione dei picchi di piena in occasione di eventi meteorici intensi.

Per la definizione degli intervalli parametrici di confronto sono stati assunti come riferimento metodologico criteri e parametri comunemente utilizzati nella letteratura tecnica per la caratterizzazione del comportamento idrologico dei suoli, con particolare riferimento ai metodi USDA per la valutazione del deflusso superficiale e alle informazioni relative a permeabilità e capacità di ritenzione idrica. Gli intervalli adottati sono stati rapportati alle caratteristiche pedologiche assunte quale riferimento per l'area e alle condizioni di uso e copertura del suolo. Essi hanno esclusivamente funzione comparativa tra gli scenari e non costituiscono risultati

derivanti dall'applicazione di un modello idrologico sito-specifico. I valori quantitativi riportati di seguito devono essere interpretati come stime parametriche rappresentative del comportamento idrologico atteso e non come risultati di prove di infiltrazione o determinazioni idrauliche eseguite direttamente in sito. Gli intervalli sono stati assunti sulla base delle caratteristiche pedologiche attribuite all'Unità CIC1/ZIT1, delle condizioni di uso e copertura del suolo e dei riferimenti metodologici richiamati, al fine di consentire un confronto omogeneo tra scenario ante operam, post operam e post-compensazione.

Nelle condizioni ante operam, le superfici permeabili risultano pari a 8.031 m², corrispondenti a circa il 26,84% della superficie complessiva del lotto. La funzione infiltrativa risulta pertanto già limitata spazialmente dalla presenza di estese superfici impermeabilizzate. Per le porzioni permeabili ante operam viene assunto, ai soli fini comparativi, un intervallo parametrico di capacità infiltrativa pari a circa 90–120 mm/h. Tale intervallo rappresenta un valore indicativo di scenario ricavato sulla base delle caratteristiche pedologiche assunte quale riferimento e non deriva da prove di infiltrazione eseguite direttamente in sito.

Nello scenario post operam le superfici permeabili risultano pari a 3.955 m², corrispondenti a circa il 13,22% della superficie complessiva del lotto. L'analisi cartografica individua inoltre 4.075 m² di superficie permeabile ante operam direttamente interessata dalla nuova impermeabilizzazione. Nelle aree direttamente impermeabilizzate la capacità di infiltrazione del suolo viene sostanzialmente annullata, mentre nelle superfici permeabili post operam la funzione idrologica viene mantenuta e localmente migliorata attraverso le sistemazioni a verde previste dal progetto.

Il quadro post operam deve tuttavia essere valutato anche in relazione alle opere di mitigazione previste all'interno del sito e agli interventi di compensazione esterna. Le superfici permeabili post operam, pari a 3.955 m², sono infatti interessate da sistemazioni a verde comprendenti fasce arboree e arbustive, erbacee perenni e prato polifita, che contribuiscono al mantenimento della capacità infiltrativa e di ritenzione idrica delle porzioni non impermeabilizzate.

A tali interventi si aggiungono le aree di compensazione presso il Fontanile Cagapes, per una superficie complessiva pari a 18.848 m². In tali ambiti gli interventi sono finalizzati al miglioramento delle formazioni forestali esistenti, al potenziamento della componente arboreo-arbustiva autoctona e alla riqualificazione delle condizioni ecologiche e pedologiche. Nel medio-lungo periodo, lo sviluppo degli apparati radicali, l'incremento della copertura vegetale, la formazione di lettiera e il progressivo aumento della sostanza organica potranno determinare un miglioramento della capacità di infiltrazione e ritenzione idrica dei suoli interessati.

L'integrazione dei valori ante operam, post operam e post-compensazione consente di rappresentare un quadro completo dell'evoluzione del servizio ecosistemico "regolazione idrologica":

- la perdita della funzione infiltrativa nelle nuove aree impermeabilizzate è permanente e non reversibile;
- le opere di mitigazione in sito consentono di mantenere e qualificare la funzione idrologica dei 3.955 m² di superfici permeabili post operam;

- il recupero garantito dalle aree di compensazione è progressivo e assume maggiore rilevanza nel medio-lungo periodo;
- il bilancio finale evidenzia una riorganizzazione delle funzioni idrologiche, con una perdita localizzata all'interno del sito e un miglioramento funzionale delle superfici interessate dagli interventi di mitigazione e compensazione.

Parametro	Ante operam	Post in sito	Compensazione	Bilancio
Capacità di infiltrazione (mm/h)	90–120	20–40	120–160	Miglioramento fuori sito
Ritenzione idrica (mm)	150–180	40–80	180–220	Parziale recupero
Runoff (%)	10–15	85–95	20–30	Miglioramento fuori sito

I valori riportati costituiscono intervalli parametrici indicativi utilizzati ai fini del confronto tra gli scenari e non derivano da misure idrologiche sito-specifiche.

6.2.3 BIODIVERSITÀ - INDICI ECOLOGICI

La valutazione della biodiversità e degli indici ecologici rappresenta un passaggio cruciale nell'analisi degli impatti ambientali connessi alla trasformazione del suolo. Nel caso in esame, il sito ante operam risulta inserito in un contesto produttivo-industriale già fortemente antropizzato, nel quale le superfici permeabili e vegetate occupano una porzione relativamente limitata del lotto, pari a 8.031 m². Tali superfici, pur non configurandosi come habitat di particolare complessità, contribuiscono al mantenimento di una componente biologica residuale e di microhabitat edafici connessi alla presenza di suolo permeabile e vegetazione. La trasformazione di parte di tali superfici determina pertanto effetti sulla componente biotica e sui processi ecologici che sostengono la funzionalità complessiva del sistema.

La valutazione è stata sviluppata attraverso un approccio comparativo che integra le caratteristiche del contesto ante operam, la struttura delle sistemazioni vegetazionali previste e indicatori ecologici utilizzati in forma parametrica, con riferimento alla letteratura scientifica e al quadro metodologico generale adottato per la valutazione ambientale. L'obiettivo non è semplicemente rilevare la presenza o assenza di specie, ma descrivere come il sistema ecologico risponde alla variazione d'uso del suolo, valutando la struttura, la complessità, la funzionalità e la resilienza degli habitat.

La metodologia utilizzata considera la biodiversità come l'esito integrato di processi fisici, biologici e funzionali. Per questo motivo, l'analisi non si limita alla componente floristica o faunistica superficiale, ma prende in considerazione anche:

- la biodiversità edafica, comprendente microfauna, comunità microbiche e rete trofica del suolo;
- la complessità strutturale degli habitat;
- la capacità del suolo di sostenere i cicli biogeochimici;
- la connettività ecologica e il grado di frammentazione;

- la potenzialità evolutiva delle superfici interessate dagli interventi di mitigazione e compensazione.

La trasformazione del suolo comporta una perdita sostanziale della biodiversità nelle superfici direttamente impermeabilizzate. Tale effetto deve tuttavia essere valutato considerando che, nello scenario post operam, permangono 3.955 m² di superfici permeabili interessate da specifiche opere di mitigazione a verde. La realizzazione di fasce arboree e arbustive, aree a erbacee perenni e prato polifita determina infatti una maggiore diversificazione floristica e strutturale delle superfici permeabili post operam, con la creazione di differenti livelli vegetazionali e di nuove opportunità di rifugio, alimentazione e spostamento per la fauna. Il progetto prevede inoltre l'inserimento di dispositivi faunistici e accorgimenti finalizzati al mantenimento della permeabilità ecologica del lotto.

A tali interventi si aggiungono le opere di compensazione previste presso il Fontanile Cagapes, per una superficie complessiva di 18.848 m². In questo caso non si tratta della realizzazione ex novo di una formazione forestale, bensì del miglioramento di sistemi vegetazionali già esistenti. Nella porzione nord gli interventi sono prevalentemente orientati al completamento e al potenziamento della formazione arboreo-arbustiva esistente, mentre nella porzione sud assumono maggiore rilievo il contenimento delle specie esotiche invasive, la sostituzione con specie autoctone e la riqualificazione della vegetazione forestale e ripariale. Nel medio-lungo periodo tali azioni sono in grado di incrementare la complessità strutturale degli habitat, la disponibilità di microhabitat e la continuità ecologica del sistema.

Per rappresentare in termini sintetici l'evoluzione potenziale della complessità biologica e strutturale degli habitat, sono stati presi a riferimento alcuni indici ecologici riconosciuti in letteratura. In assenza di campagne sito-specifiche finalizzate alla determinazione quantitativa dell'abbondanza relativa delle specie, tali indicatori non vengono utilizzati come valori misurati, ma come intervalli parametrici indicativi utili al confronto tra le condizioni ante operam, post operam in sito e post-compensazione.

Tra gli indicatori considerati, l'indice di Shannon (H') viene assunto quale riferimento per esprimere in forma sintetica la diversità potenziale delle comunità biologiche, tenendo conto della ricchezza specifica e della maggiore o minore articolazione attesa degli habitat.

Tra questi:

<u>L'indice di Shannon (H') - Misura la complessità della comunità biologica considerando contemporaneamente:</u>

- ricchezza di specie, intesa come numero di specie presenti;
- uniformità, ossia la modalità con cui gli individui si distribuiscono tra le diverse specie.

Nel contesto ante operam, caratterizzato da un'elevata antropizzazione e da superfici vegetate limitate e relativamente frammentate, possono essere assunti valori indicativi di H' compresi tra 0,8 e 1,1. Nelle superfici verdi post operam, la riduzione quantitativa delle aree permeabili è parzialmente controbilanciata dalla maggiore articolazione delle sistemazioni vegetazionali previste; a maturità, tali superfici possono pertanto raggiungere valori indicativi compresi tra 1,1 e 1,4. Nelle aree di compensazione del Fontanile Cagapes, il progressivo miglioramento delle

formazioni arboreo-arbustive può determinare nel medio-lungo periodo valori indicativamente compresi tra 1,5 e 1,8.

Indici di qualità ecologica del suolo - Supportati dai dati pedologici dell'unità CIC1/ZIT1, permettono di valutare:

- abbondanza e diversità della macrofauna del suolo, quali lombrichi, artropodi e coleotteri;
- attività microbica e presenza di micorrize;
- stabilità strutturale dell'aggregato.

Questi indicatori sono strettamente legati alla presenza di sostanza organica, alla continuità della copertura vegetale e alla qualità della struttura del suolo. Nelle superfici impermeabilizzate tali funzioni vengono sostanzialmente annullate, mentre vengono conservate e progressivamente rafforzate nelle aree permeabili interessate dalle opere a verde e nelle aree di compensazione.

Indicatori di funzionalità ecosistemica - Utilizzati per raccordare la biodiversità ai servizi ecosistemici:

- capacità di rigenerazione spontanea;
- resilienza agli stress idrici;
- produzione primaria netta;
- complessità verticale della vegetazione.

La valutazione ante/post operam – logica e criteri

Fase 1 – Analisi ante operam

Lo stato ante operam è caratterizzato da un lotto già ampiamente artificializzato, nel quale le superfici permeabili ammontano complessivamente a 8.031 m². La biodiversità potenziale risulta pertanto medio-bassa e condizionata dalla frammentazione delle superfici vegetate e dalla presenza del contesto produttivo circostante. Il valore indicativo assunto per l'indice H' ante operam è compreso tra 0,8 e 1,1.

Fase 2 – Analisi post operam in sito

Nelle superfici oggetto di nuova impermeabilizzazione si verifica una sostanziale perdita della funzionalità ecologica del suolo. Le superfici permeabili post operam, pari a 3.955 m², vengono tuttavia interessate da interventi di mitigazione caratterizzati da una maggiore diversificazione vegetazionale rispetto allo stato attuale, comprendenti componente arborea, arbustiva ed erbacea. In tali superfici il valore di H' può progressivamente attestarsi, a maturità, nell'intervallo indicativo di 1,1–1,4. Tale miglioramento qualitativo locale non elimina la perdita quantitativa di habitat determinata dalla riduzione complessiva delle superfici permeabili.

Fase 3 – Valutazione compensativa

Gli interventi sulle porzioni nord e sud del Fontanile Cagapes interessano complessivamente 18.848 m² e sono finalizzati al miglioramento ecologico delle formazioni vegetazionali esistenti. Il potenziamento della componente autoctona, la diversificazione della struttura arboreo-arbustiva, il contenimento delle specie invasive e la valorizzazione del legno morto consentiranno di incrementare progressivamente la disponibilità di habitat, microhabitat e risorse trofiche. Nel

medio-lungo periodo è pertanto ragionevole assumere per tali ambiti valori indicativi di H' compresi tra 1,5 e 1,8, corrispondenti a sistemi vegetazionali caratterizzati da una maggiore complessità e funzionalità ecologica.

Indicatore	Ante operam	Post operam in sito	Compensazione	Valutazione
Shannon H'	0,8–1,1	1,1–1,4	1,5–1,8	Miglioramento complessivo nel medio-lungo periodo
Ricchezza specie arboree (n)	2–4	4–6	7–10	Aumento significativo
Ricchezza arbustiva (n)	2–4	10–15	6–10	Aumento significativo

I valori di H' e gli intervalli di ricchezza specifica riportati costituiscono stime parametriche della biodiversità potenziale e della complessità attesa degli habitat e non derivano da un calcolo dell'indice su dati di abbondanza rilevati mediante campagne biologiche sito-specifiche.

6.2.4 PROTEZIONE DALL'EROSIONE

La protezione dall'erosione rappresenta uno dei servizi ecosistemici fondamentali forniti dal suolo, in quanto direttamente collegata alla sua capacità di mantenere stabilità fisica, trattenere particelle minerali e organiche e limitare i fenomeni di dilavamento superficiale. Nella presente analisi, la valutazione è stata sviluppata in forma qualitativa e semiquantitativa sulla base delle caratteristiche pedologiche assunte quale riferimento per l'area, delle condizioni di uso e copertura del suolo e dei principali fattori che regolano la protezione superficiale del terreno, con particolare riferimento alla continuità della copertura vegetale, allo sviluppo degli apparati radicali, alla sostanza organica e alla struttura degli orizzonti superficiali.

I suoli riconducibili all'Unità Cartografica CIC1/ZIT1 presentano caratteristiche tessiturali differenziate tra le componenti di riferimento, prevalentemente franco-sabbiose per CIC e franche per ZIT. Nelle porzioni permeabili e vegetate, la resistenza ai fenomeni erosivi superficiali dipende inoltre dalla presenza e continuità della copertura vegetale, dallo sviluppo degli apparati radicali, dal contenuto di sostanza organica e dalle condizioni strutturali degli orizzonti superficiali. Tali elementi contribuiscono alla dissipazione dell'energia cinetica delle precipitazioni e alla limitazione del trasporto delle particelle di suolo. Nello stato ante operam tale funzione interessa tuttavia una porzione già relativamente limitata del sito, corrispondente agli 8.031 m² di superficie permeabile, pari a circa il 26,84% dell'area complessiva, mentre la restante parte risulta già occupata da superfici artificializzate.

La configurazione post operam presenta complessivamente 3.955 m² di superfici permeabili. La sovrapposizione cartografica tra stato ante e post operam individua inoltre 4.075 m² di superficie permeabile ante operam direttamente interessata dalla nuova impermeabilizzazione. In tali superfici viene meno l'interazione diretta tra precipitazioni e matrice pedologica e, conseguentemente, il suolo non può più svolgere la propria funzione di protezione rispetto ai processi erosivi. La perdita della funzione non interessa tuttavia l'intero lotto, poiché le superfici

permeabili post operam vengono mantenute e interessate dalle opere di mitigazione previste dal progetto.

In particolare, i 3.955 m² di superfici permeabili post operam sono oggetto di sistemazioni a verde comprendenti fasce arboree e arbustive, erbacee perenni e prato polifita. Lo sviluppo della copertura vegetale e degli apparati radicali, unitamente all'apporto progressivo di sostanza organica e lettiera, contribuisce alla protezione superficiale del terreno e al mantenimento della stabilità strutturale nelle porzioni non impermeabilizzate. Le mitigazioni in sito consentono quindi di conservare e localmente migliorare la funzione antierosiva delle superfici permeabili post operam, pur senza compensare quantitativamente la riduzione complessiva del suolo permeabile.

Un contributo più significativo nel medio-lungo periodo deriva dagli interventi di compensazione previsti sulle porzioni nord e sud del Fontanile Cagapes, per una superficie complessiva di 18.848 m². In tali ambiti non viene realizzato un nuovo bosco su superfici prive di vegetazione, ma viene perseguito il miglioramento delle formazioni esistenti attraverso il potenziamento della componente arboreo-arbustiva autoctona, la sostituzione delle fallanze, il contenimento delle specie esotiche invasive e la riqualificazione della vegetazione ripariale.

L'aumento della continuità della copertura vegetale, lo sviluppo degli apparati radicali e il progressivo accumulo di lettiera e sostanza organica determinano nel tempo un miglioramento della stabilità superficiale del suolo e una riduzione della sua vulnerabilità all'erosione. Tale effetto risulta particolarmente significativo nella porzione sud, dove gli interventi di riqualificazione determinano una maggiore trasformazione qualitativa della struttura vegetazionale, mentre nella porzione nord la funzione protettiva già presente viene prevalentemente consolidata e potenziata.

Il bilancio complessivo evidenzia pertanto una perdita localizzata e irreversibile della funzione nelle superfici di nuova impermeabilizzazione, parzialmente controbilanciata dalle mitigazioni realizzate all'interno del sito e dal miglioramento funzionale delle aree di compensazione. Nel medio-lungo periodo, gli interventi vegetazionali previsti consentono di incrementare la protezione del suolo nelle superfici permeabili, ridurre la vulnerabilità all'erosione e rafforzare la stabilità strutturale e biologica dei suoli interessati.

Indicatore	**Ante operam**	**Post operam in sito**	**Compensazione**	**Valutazione complessiva**
Stabilità degli aggregati del suolo	Media nelle superfici permeabili	Bassa nelle aree trasformate; mantenuta nelle superfici a verde	Media–alta	Recupero parziale ma significativo
Copertura vegetale protettiva	Presente ma limitata a 8.031 m²	Ridotta a 3.955 m², ma qualificata dalle mitigazioni a verde	Elevata e progressivamente più strutturata	Miglioramento nel medio-lungo periodo
Vulnerabilità all'erosione superficiale	Bassa–media nelle superfici vegetate	Media nelle superfici permeabili post operam; funzione assente nelle superfici impermeabilizzate	Bassa	Recupero funzionale significativo fuori sito

Indicatore	Ante operam	Post operam in sito	Compensazione	Valutazione complessiva
Funzione di trattenimento particellare	Attiva nelle superfici permeabili	Ridotta a scala di lotto, mantenuta nelle aree a verde	Consolidata e potenziata	Positiva dopo maturazione
Capacità di dissipazione dell'energia della pioggia	Buona nelle superfici vegetate	Ridotta complessivamente; mantenuta nelle sistemazioni a verde	Buona–ottima	Miglioramento nel medio-lungo periodo
Contributo ecologico complessivo	Moderato e spazialmente limitato	Ridotto quantitativamente ma qualitativamente migliorato nelle aree verdi	Potenziato	Complessivamente positivo nel medio-lungo periodo

6.2.5 VALORI CULTURALI E PAESAGGISTICI

La valutazione quantitativa dei valori culturali e paesaggistici, pur riferendosi ad aspetti che presentano una rilevante componente percettiva, può essere affrontata attraverso indicatori oggettivi e parametri riconosciuti nella letteratura tecnico-scientifica. La valutazione dei valori culturali e paesaggistici è sviluppata in forma semiquantitativa mediante indicatori descrittivi riferiti alla qualità percettiva, all'articolazione del mosaico territoriale, alla presenza di elementi naturali, alla complessità vegetazionale e al grado di continuità ecologica.

Nello stato ante operam, l'area si inserisce in un contesto produttivo-industriale già fortemente antropizzato, caratterizzato dalla prevalenza di superfici edificate e impermeabilizzate e dalla presenza di superfici permeabili e vegetate limitate a 8.031 m². La qualità percettiva e la naturalità risultano pertanto contenute, anche se le fasce vegetate esistenti contribuiscono localmente alla mitigazione delle strutture produttive e al raccordo con gli elementi verdi presenti lungo i margini del lotto.

L'intervento in progetto determina un ulteriore incremento della componente artificiale e una riduzione delle superfici permeabili a 3.955 m². Tale trasformazione comporta una diminuzione quantitativa degli spazi verdi interni, ma viene accompagnata da specifiche opere di mitigazione paesaggistica ed ecologica. Le sistemazioni a verde previste, articolate in fasce arboree e arbustive, aree a erbacee perenni e superfici a prato polifita, consentono di incrementare la qualità e la complessità vegetazionale delle superfici a verde post operam, attenuando la percezione dei volumi tecnologici e migliorando il rapporto tra l'infrastruttura e il contesto circostante.

La struttura pluristratificata delle sistemazioni vegetazionali e l'impiego di specie coerenti con il contesto territoriale contribuiscono alla formazione di margini maggiormente articolati e naturaliformi. Con la progressiva maturazione della vegetazione, le fasce a verde potranno svolgere una funzione di schermatura sempre più efficace, introducendo variazioni di altezza, tessitura e stagionalità e riducendo la continuità percettiva delle superfici artificiali.

Un contributo significativo alla qualità paesaggistica complessiva deriva inoltre dagli interventi di compensazione previsti sulle porzioni nord e sud del Fontanile Cagapes, per una superficie

complessiva di 18.848 m². In tali ambiti gli interventi sono finalizzati al miglioramento delle formazioni vegetazionali esistenti, mediante il rafforzamento della componente arboreo-arbustiva autoctona, il contenimento delle specie esotiche invasive e la riqualificazione della vegetazione ripariale. Tali azioni consentono di consolidare un elemento paesaggistico già riconoscibile nel territorio e di rafforzarne il ruolo all'interno del sistema verde e della rete ecologica locale.

Nella porzione nord, già caratterizzata da una maggiore qualità e articolazione della vegetazione, gli interventi assumono prevalentemente funzione di conservazione, completamento e potenziamento. Nella porzione sud, inserita in un contesto maggiormente urbanizzato e caratterizzata da una maggiore presenza di specie invasive, le azioni previste determinano invece una più marcata riqualificazione paesaggistica, attraverso il progressivo recupero di una struttura vegetazionale maggiormente coerente con il sistema del fontanile.

Il bilancio complessivo evidenzia pertanto una riduzione locale della componente naturale all'interno del lotto, associata all'incremento delle superfici impermeabilizzate, parzialmente mitigata dalla maggiore qualità delle opere a verde di progetto. Nel medio-lungo periodo, il miglioramento delle aree del Fontanile Cagapes determina inoltre un beneficio paesaggistico ed ecologico a scala territoriale, rafforzando la naturalità, la continuità vegetazionale e la riconoscibilità degli elementi verdi presenti nel contesto.

Indicatore	**Ante operam**	**Post operam in sito**	**Compensazione**	**Valutazione complessiva**
Qualità percettiva	Medio-bassa, in contesto produttivo già antropizzato	Media, grazie alle opere di mitigazione a verde	Medio-alta, con potenziamento delle formazioni vegetazionali esistenti	Recupero parziale in sito e miglioramento fuori sito
Coerenza paesaggistica	Moderata	Migliorata localmente dalle fasce vegetazionali di mitigazione	Elevata, per rafforzamento del sistema del Fontanile Cagapes	Positiva nel medio-lungo periodo
Naturalità	Bassa-moderata	Moderata nelle superfici a verde post operam	Medio-alta, con incremento della componente autoctona	Miglioramento significativo fuori sito
Integrazione visiva	Limitata	Buona a maturità delle fasce arboree e arbustive	Buona-elevata, per consolidamento delle formazioni vegetali	Effetto migliorativo complessivo

6.2.6 VALUTAZIONE QUANTITATIVA DELLA CAPACITÀ PRODUTTIVA AGRICOLA

La capacità produttiva agricola rappresenta uno dei servizi ecosistemici direttamente connessi alle caratteristiche del suolo, in quanto esprime la sua attitudine a sostenere colture, produrre biomassa e garantire rese agricole nel tempo. La valutazione di tale funzione deve tuttavia distinguere tra la potenzialità produttiva intrinseca del suolo, determinata dalle caratteristiche pedologiche, e l'effettiva erogazione del servizio agricolo, strettamente dipendente dall'uso reale delle superfici.

Nel caso in esame, lo stato ante operam è caratterizzato da un lotto già prevalentemente urbanizzato e inserito in un contesto produttivo-industriale. Le superfici permeabili ammontano complessivamente a 8.031 m² e risultano riconducibili ad aree verdi e sistemazioni assimilabili a parchi e giardini, non a superfici agricole coltivate. Ne consegue che, pur potendo i suoli dell'Unità CIC1/ZIT1 presentare caratteristiche pedologiche potenzialmente compatibili con una discreta capacità produttiva, il servizio ecosistemico di produzione agricola risulta, nello stato attuale, sostanzialmente non esercitato.

La configurazione post operam presenta 3.955 m² di superfici permeabili, rispetto agli 8.031 m² presenti nello stato ante operam. La superficie permeabile ante operam direttamente interessata dalla nuova impermeabilizzazione è pari a 4.075 m². In tali superfici viene meno la potenzialità pedologica del suolo a sostenere una futura produzione vegetale, mentre nelle superfici permeabili post operam tale capacità viene mantenuta sotto il profilo strettamente pedologico. Queste ultime sono tuttavia destinate alle opere di mitigazione a verde e non assumono una funzione produttiva agricola.

Le sistemazioni previste all'interno del lotto, costituite da fasce arboree e arbustive, erbacee perenni e prato polifita, determinano infatti una destinazione prevalentemente paesaggistica ed ecologica delle superfici permeabili post operam. Tali interventi contribuiscono al mantenimento della funzionalità biologica del suolo, all'apporto di sostanza organica e alla produzione di biomassa vegetale, ma non possono essere assimilati a un recupero della produttività agricola in senso stretto.

Analoga considerazione riguarda gli interventi di compensazione previsti presso il Fontanile Cagapes, per una superficie complessiva pari a 18.848 m². Gli interventi sono finalizzati alla valorizzazione forestale, al rafforzamento della componente arboreo-arbustiva autoctona e alla riqualificazione ecologica delle formazioni esistenti. Le superfici compensate non sono pertanto destinate alla produzione agricola e non ricostituiscono direttamente il servizio ecosistemico agricolo eventualmente perso, ma determinano un incremento di altri servizi ecosistemici, tra cui stoccaggio del carbonio, biodiversità, protezione del suolo e regolazione idrologica.

Nel bilancio complessivo, l'intervento comporta quindi una perdita della potenzialità produttiva del suolo nei 4.075 m² di superficie permeabile ante operam direttamente interessati dalla nuova impermeabilizzazione. Tale perdita non corrisponde tuttavia alla sottrazione di superfici agricole effettivamente produttive, poiché il sito ante operam non risulta destinato ad attività colturali. La compensazione e le mitigazioni previste non ricostituiscono una funzione agricola equivalente, ma orientano le superfici interessate verso funzioni ecologiche e forestali di maggiore rilevanza per il progetto.

Indicatore	**Ante operam**	**Post operam in sito**	**Compensazione**	**Valutazione complessiva**
Vocazione produttiva del suolo	assenza di uso agricolo effettivo	non significativa nelle aree a verde	Non applicabile alla produzione agricola	Riduzione locale senza perdita significativa di produzione agricola effettiva

Indicatore	Ante operam	Post operam in sito	Compensazione	Valutazione complessiva
Fertilità naturale	Presente nelle superfici permeabili	Conservata nelle aree permeabili post operam; persa nelle superfici impermeabilizzate	Mantenuta e potenziata ai fini ecologici	Perdita localizzata e non compensata in termini agricoli
Continuità con il paesaggio agrario	Limitata	Non significativa	Rafforzata nel sistema del Fontanile Cagapes	Nessuna perdita rilevante
Funzioni ecosistemiche agricole	Non significative nello stato ante operam	Non significative	Sostituite da funzioni ecologiche e forestali	Servizio agricolo non significativamente interessato

6.3 SINTESI: BILANCIO ECOSISTEMICO COMPLESSIVO

Il bilancio ecosistemico complessivo dell'intervento evidenzia un quadro articolato, nel quale la perdita di funzionalità associata alle nuove superfici impermeabilizzate si confronta con gli effetti delle misure di mitigazione previste all'interno del lotto e con gli interventi di compensazione individuati presso il Fontanile Cagapes. L'analisi considera congiuntamente le principali funzioni ecosistemiche del suolo e della vegetazione, con particolare riferimento alla regolazione idrologica, allo stoccaggio del carbonio, alla biodiversità, alla protezione dall'erosione e alla qualità paesaggistica.

Lo stato ante operam risulta già caratterizzato da un elevato grado di artificializzazione. Le superfici permeabili interessano infatti 8.031 m², pari a circa il 26,84% della superficie complessiva del lotto, mentre la restante parte risulta già occupata da superfici impermeabili. Nello scenario post operam le superfici permeabili risultano pari a 3.955 m². La sovrapposizione cartografica tra stato ante e post operam individua in 4.075 m² la superficie permeabile ante operam direttamente interessata dalla nuova impermeabilizzazione. L'impatto permanente sulle funzioni del suolo deve pertanto essere riferito a tale superficie e non alla semplice differenza aritmetica tra le superfici permeabili complessive ante e post operam.

La trasformazione determina sulle superfici direttamente interessate una perdita permanente delle funzioni pedologiche, in particolare della capacità di infiltrazione e ritenzione idrica, dell'attività biologica del suolo e della possibilità di accumulo di sostanza organica. Tale perdita non risulta integralmente reversibile. Tuttavia, le superfici permeabili post operam non vengono mantenute come semplici spazi verdi residuali, ma sono interessate da specifiche opere di mitigazione comprendenti una fascia arborea con 78 nuovi esemplari, fasce arbustive pluristratificate, aree a erbacee perenni e superfici a prato polifita. Tali interventi consentono di incrementare progressivamente la qualità e la complessità ecologica delle aree permeabili che permangono all'interno del sito. Per quanto riguarda la regolazione idrologica, l'incremento delle superfici impermeabili comporta una riduzione della capacità infiltrativa complessiva del lotto e un conseguente aumento della quota di deflusso superficiale. Le opere di mitigazione consentono tuttavia di mantenere attiva tale funzione sui 3.955 m² di superfici permeabili post operam, attraverso la presenza di coperture erbacee, arbustive e arboree. Il prato polifita, in particolare,

contribuisce alla stabilizzazione superficiale del terreno, all'infiltrazione delle acque meteoriche e alla riduzione del ruscellamento.

A scala territoriale, un ulteriore contributo deriva dagli interventi di compensazione previsti sulle porzioni nord e sud del Fontanile Cagapes, per una superficie complessiva di 18.848 m². In tali aree non è prevista la creazione ex novo di un bosco, bensì il miglioramento di formazioni vegetazionali già esistenti. Gli interventi comprendono il potenziamento della componente arboreo-arbustiva autoctona, la sostituzione delle fallanze, il contenimento delle specie esotiche invasive e, soprattutto nella porzione sud, azioni di riqualificazione forestale e ripariale. Nel medio-lungo periodo, lo sviluppo degli apparati radicali, l'incremento della copertura vegetale e l'accumulo di lettiera e sostanza organica determinano un miglioramento della capacità di ritenzione idrica, della stabilità del suolo e della funzionalità biologica delle superfici interessate.

Anche per lo stoccaggio del carbonio il bilancio presenta una componente negativa immediata e una componente positiva progressiva. La nuova impermeabilizzazione determina la perdita funzionale della capacità di stoccaggio del carbonio nei 4.075 m² di superficie permeabile ante operam direttamente interessati dalla trasformazione. Le opere di mitigazione interne al lotto e, in misura maggiore, il miglioramento delle formazioni forestali del Fontanile Cagapes determinano tuttavia un incremento progressivo dello stock di carbonio nella biomassa vegetale e nel suolo. Sulla base delle stime parametriche sviluppate nel paragrafo 6.2.1, il contributo combinato delle opere di mitigazione e compensazione risulta potenzialmente in grado, a maturità, di compensare integralmente la perdita funzionale associata alla nuova impermeabilizzazione. Il bilancio parametrico del servizio di stoccaggio del carbonio risulta infatti compreso indicativamente tra +0,3 e +23,8 t C, con un saldo sostanzialmente in equilibrio e lievemente positivo nello scenario maggiormente cautelativo e un incremento netto nello scenario più favorevole. Tale intervallo non include lo stock di carbonio associato alla biomassa epigea dei 31 esemplari arborei oggetto di abbattimento, stimato separatamente nel paragrafo 6.2.1 in circa 4,7 t C.

La biodiversità presenta una dinamica analoga. La riduzione quantitativa delle superfici permeabili determina una perdita di habitat in sito; tuttavia, la maggiore articolazione delle sistemazioni vegetazionali previste permette di incrementare localmente la diversità floristica e strutturale delle superfici a verde post operam. La presenza contemporanea di alberi, arbusti, erbacee perenni e prato polifita, integrata da dispositivi artificiali per la fauna e da accorgimenti finalizzati alla permeabilità ecologica del lotto, consente di aumentare la disponibilità di risorse trofiche, rifugi e microhabitat rispetto a una sistemazione verde semplificata.
Il contributo delle aree di compensazione risulta particolarmente rilevante sotto questo profilo. Nella porzione nord del Fontanile Cagapes viene consolidata una formazione vegetazionale già caratterizzata da una buona qualità ecologica, mentre nella porzione sud gli interventi determinano un miglioramento più marcato attraverso la progressiva sostituzione delle specie invasive e il rafforzamento della vegetazione autoctona. Il mantenimento della necromassa e il riutilizzo del materiale legnoso per la realizzazione di cataste e rifugi contribuiscono inoltre ad ampliare la disponibilità di microhabitat e a incrementare la complessità ecologica delle formazioni.

Anche il servizio di protezione dall'erosione risente direttamente della trasformazione del suolo. Nelle superfici impermeabilizzate la funzione pedologica viene meno, mentre nelle superfici a

verde post operam viene conservata e potenziata attraverso lo sviluppo della copertura vegetale e degli apparati radicali. Nelle aree di compensazione, il progressivo miglioramento della struttura arboreo-arbustiva, la formazione della lettiera e l'incremento della sostanza organica determinano condizioni favorevoli alla stabilizzazione degli orizzonti superficiali e alla riduzione della vulnerabilità del suolo ai fenomeni erosivi.

Sotto il profilo paesaggistico, la trasformazione determina un aumento della componente artificiale all'interno di un contesto già fortemente antropizzato. Le opere a verde previste in sito svolgono pertanto una funzione rilevante di mitigazione e integrazione visiva, attraverso la formazione di fasce vegetazionali articolate per struttura, altezza e composizione. A scala territoriale, gli interventi sul Fontanile Cagapes contribuiscono invece a rafforzare un elemento paesaggistico ed ecologico già riconoscibile, migliorandone la continuità vegetazionale, la naturalità e la relazione con il sistema ambientale circostante.

Diversamente dal caso di superfici agricole effettivamente coltivate, la capacità produttiva agricola non rappresenta un servizio ecosistemico significativamente erogato nello stato ante operam, poiché il lotto risulta già destinato a usi produttivi e le superfici permeabili presenti sono riconducibili principalmente a sistemazioni a verde. La nuova impermeabilizzazione determina pertanto una perdita della potenzialità pedologica sulle superfici interessate, ma non una perdita significativa di produzione agricola effettiva. Le compensazioni previste sono inoltre orientate alla riqualificazione ecologica e forestale e non alla ricostituzione di una funzione agricola.

Nel complesso, il bilancio ecosistemico non può essere interpretato come una completa sostituzione delle funzioni perdute in sito. La nuova impermeabilizzazione dei 4.075 m² di superficie permeabile ante operam direttamente interessati determina infatti una perdita permanente delle relative funzioni pedologiche. Le misure di mitigazione sui 3.955 m² di superfici permeabili post operam consentono però di mantenere e migliorare qualitativamente le funzioni ecologiche interne al lotto, mentre gli interventi di compensazione su 18.848 m² permettono di ottenere un recupero funzionale più ampio a scala territoriale.

In sintesi, l'analisi evidenzia che:

- il deficit ecosistemico direttamente associato ai 4.075 m² di superficie permeabile ante operam interessati dalla nuova impermeabilizzazione è permanente e non integralmente recuperabile in sito;
- le opere di mitigazione consentono di qualificare i 3.955 m² di superficie permeabile post operam, incrementandone la complessità vegetazionale e la funzionalità ecologica;
- le compensazioni presso il Fontanile Cagapes determinano un miglioramento significativo della biodiversità, dello stoccaggio del carbonio, della protezione del suolo e, nel medio-lungo periodo, della regolazione idrologica;
- la capacità produttiva agricola non risulta significativamente compromessa, in quanto il sito ante operam non è interessato da un uso agricolo effettivo;
- nel medio-lungo periodo il sistema presenta un recupero sostanziale dei principali servizi ecosistemici a scala territoriale, pur permanendo la perdita irreversibile delle funzioni pedologiche nelle superfici direttamente impermeabilizzate.

7. CONCLUSIONI

La presente valutazione ha permesso di restituire un quadro complessivo degli effetti dell'intervento, analizzando il suolo, la regolazione idrologica, la biodiversità, il ciclo del carbonio, la protezione dall'erosione e il paesaggio attraverso un approccio che combina dati quantitativi, interpretazioni qualitative e criteri metodologici riconosciuti in ambito VIA. L'analisi ha inoltre considerato congiuntamente le trasformazioni previste all'interno del lotto, le opere di mitigazione in sito e gli interventi di compensazione individuati presso il Fontanile Cagapes.

L'analisi ha messo in evidenza, innanzitutto, come lo stato ante operam sia già caratterizzato da un elevato grado di artificializzazione. All'interno del lotto risultano infatti presenti 8.031 m² di superfici permeabili, pari a circa il 26,84% della superficie complessiva, mentre la restante porzione è già occupata da superfici impermeabili. Le superfici di suolo ancora permeabili, caratterizzate assumendo quale riferimento pedologico per analogia e prossimità l'Unità Cartografica CIC1/ZIT1, conservano le principali funzioni proprie del suolo, tra cui infiltrazione e ritenzione delle acque, attività biologica, accumulo di sostanza organica, supporto alla vegetazione e partecipazione ai cicli biogeochimici. Nello scenario post operam le superfici permeabili risultano pari a 3.955 m². La sovrapposizione cartografica tra stato ante e post operam individua in 4.075 m² la superficie permeabile ante operam direttamente interessata dalla nuova impermeabilizzazione. Su tali superfici la perdita delle funzioni pedologiche deve essere considerata permanente e non reversibile.

Accanto alla perdita pedologica si colloca la modifica del comportamento idrologico del sito. I suoli delle porzioni permeabili, caratterizzati assumendo quale riferimento pedologico per analogia e prossimità l'Unità Cartografica CIC1/ZIT1, contribuiscono alla regolazione dei deflussi attraverso l'infiltrazione e la ritenzione delle precipitazioni. La nuova impermeabilizzazione determina quindi una riduzione della capacità infiltrativa complessiva del lotto e un incremento della quota potenziale di runoff. Tale effetto non interessa tuttavia l'intera area di progetto, poiché i 3.955 m² di superficie permeabile post operam vengono mantenuti e interessati da specifiche sistemazioni a verde. Le fasce arboree e arbustive, le aree a erbacee perenni e il prato polifita contribuiscono al mantenimento della permeabilità, alla protezione del terreno e alla riduzione del ruscellamento superficiale. Il prato polifita, in particolare, è espressamente concepito anche per favorire l'infiltrazione delle acque meteoriche e la stabilizzazione superficiale del suolo.

La biodiversità rappresenta un'altra componente interessata dalla trasformazione. La nuova impermeabilizzazione comporta la perdita degli habitat edafici presenti nei 4.075 m² di superficie permeabile ante operam direttamente interessati dalla trasformazione e l'interruzione locale delle comunità biologiche associate al terreno. Tale perdita è tuttavia parzialmente controbilanciata dalla maggiore articolazione ecologica delle superfici verdi post operam. Il progetto prevede infatti una fascia arborea costituita da 78 nuovi esemplari, una fascia arbustiva pluristratificata e sistemi erbacei diversificati, in grado di aumentare la complessità verticale della vegetazione e la disponibilità di risorse e microhabitat. A tali interventi si aggiungono dispositivi artificiali destinati alla fauna e accorgimenti per mantenere la permeabilità ecologica del perimetro, finalizzati a favorire rifugio, alimentazione, riproduzione e spostamento delle diverse componenti faunistiche. Un ruolo particolarmente significativo nel riequilibrio ecosistemico è svolto dagli interventi di compensazione individuati presso il Fontanile Cagapes,

nelle porzioni nord e sud, per una superficie complessiva di 18.848 m². In questo caso la compensazione non consiste nella creazione ex novo di un bosco, ma nel miglioramento di formazioni vegetazionali già esistenti. Nella porzione nord, caratterizzata da condizioni floristiche e strutturali complessivamente buone, gli interventi assumono prevalentemente carattere di conservazione, completamento e potenziamento della componente arboreo-arbustiva. Nella porzione sud, maggiormente condizionata dalla presenza di specie esotiche invasive e dalla frammentazione del contesto urbano, le azioni previste sono maggiormente orientate alla riqualificazione forestale e ripariale, al contenimento delle specie invasive e alla loro progressiva sostituzione con specie autoctone.

Tali interventi permettono di incrementare nel tempo la complessità della vegetazione, la continuità degli habitat, la disponibilità di risorse trofiche e la presenza di microhabitat. Il mantenimento di parte della necromassa e il riutilizzo del materiale legnoso derivante dai tagli sotto forma di cataste e rifugi contribuiscono inoltre a migliorare le condizioni per microfauna, mesofauna ed entomofauna. Il sistema di compensazione non sostituisce fisicamente il suolo impermeabilizzato all'interno del lotto, ma determina un miglioramento ecologico significativo di ambiti già inseriti nel sistema del fontanile e nella rete verde territoriale.

Il ciclo del carbonio segue una dinamica analoga. L'impermeabilizzazione dei 4.075 m² di superficie permeabile ante operam direttamente interessati dalla trasformazione comporta una perdita funzionale della capacità del suolo di stoccare e sequestrare carbonio e altera i processi pedologici connessi alla sostanza organica. Le opere di mitigazione in sito avviano tuttavia un processo opposto attraverso la crescita delle nuove alberature, della vegetazione arbustiva e delle componenti erbacee, con progressivo accumulo di carbonio nella biomassa e nella sostanza organica del terreno. Il contributo risulta ulteriormente rafforzato dagli interventi di compensazione del Fontanile Cagapes, nei quali l'aumento della biomassa, lo sviluppo degli apparati radicali e la formazione di lettiera determinano nel medio-lungo periodo un incremento dello stock di carbonio rispetto alle condizioni attuali. Il recupero non è immediato, ma aumenta progressivamente con la maturazione delle formazioni vegetali. In termini parametrici, il bilancio complessivo del servizio ecosistemico di stoccaggio del carbonio a maturità è stimato nel paragrafo 6.2.1 in un intervallo compreso tra circa +0,3 / +23,8 t C. Il predetto intervallo non include lo stock di carbonio associato alla biomassa epigea dei 31 esemplari arborei oggetto di abbattimento, valutato separatamente nel paragrafo 6.2.1 mediante stima parametrica in circa 4,7 t C e non direttamente assimilabile a una perdita emissiva. Tale intervallo esprime l'incertezza associata alle assunzioni adottate e non costituisce un bilancio fisico di massa del carbonio né una compensazione delle emissioni di gas a effetto serra associate all'opera.

Anche la funzione di protezione dall'erosione risente direttamente della trasformazione. Nelle superfici di nuova impermeabilizzazione viene meno l'interazione tra precipitazioni e matrice pedologica e, con essa, la funzione ecosistemica del suolo. Nelle superfici permeabili post operam, invece, la presenza di coperture erbacee, arbustive e arboree mantiene attiva la protezione superficiale e favorisce la stabilità degli aggregati. Nelle aree di compensazione il progressivo sviluppo della vegetazione, degli apparati radicali e della lettiera concorre ulteriormente alla stabilizzazione degli orizzonti superficiali, al contenimento del dilavamento e all'incremento della sostanza organica.

Il paesaggio riflette e sintetizza tali dinamiche. Il progetto determina un incremento della componente artificiale all'interno di un contesto che risulta, tuttavia, già fortemente caratterizzato dalla presenza di insediamenti produttivi e infrastrutture. Le opere di mitigazione previste nel lotto contribuiscono a ridurre l'impatto percettivo delle nuove strutture attraverso un sistema vegetazionale articolato, costituito da elementi arborei, arbustivi ed erbacei capaci di generare differenti livelli di altezza, densità e copertura. Le scelte progettuali delle opere a verde sono infatti orientate sia alla qualità ecologica sia all'integrazione visiva dell'intervento nel contesto circostante. A scala territoriale, la riqualificazione delle porzioni nord e sud del Fontanile Cagapes contribuisce inoltre a rafforzare un elemento paesaggistico già riconoscibile, incrementandone la naturalità, la continuità vegetazionale e il ruolo all'interno del sistema verde locale.

Diversamente da quanto avverrebbe nel caso di trasformazione di superfici agricole effettivamente coltivate, la capacità produttiva agricola non costituisce nel sito in esame un servizio ecosistemico significativamente esercitato nello stato ante operam. Il lotto è infatti già inserito in un contesto produttivo-industriale e le superfici permeabili post operam sono riconducibili prevalentemente a sistemazioni a verde. La nuova impermeabilizzazione determina comunque la perdita della potenzialità pedologica nei 4.075 m² di superficie permeabile ante operam direttamente interessati dalla trasformazione, ma non può essere assimilata alla sottrazione di una superficie agricola produttiva. Le opere di mitigazione e compensazione sono pertanto orientate non alla ricostituzione di una produzione agricola, bensì al rafforzamento di servizi ecosistemici di carattere ecologico, forestale, idrologico e paesaggistico.

La valutazione del bilancio ecosistemico complessivo non può tuttavia essere ricondotta al solo saldo relativo allo stoccaggio del carbonio, che rappresenta uno degli indicatori considerati nell'ambito della presente analisi. Il giudizio sugli effetti dell'intervento deve essere formulato attraverso una lettura integrata delle diverse funzioni ecosistemiche analizzate, considerando congiuntamente la regolazione idrologica, la biodiversità, la protezione e la funzionalità biologica del suolo, la qualità paesaggistica, la capacità produttiva potenziale e lo stoccaggio del carbonio. Tali servizi presentano dinamiche, scale spaziali e tempi di risposta differenti e non risultano pertanto integralmente riconducibili a un unico indicatore quantitativo. Il bilancio complessivo deve quindi essere interpretato sulla base dell'insieme delle perdite permanenti, dei mantenimenti funzionali e dei miglioramenti qualitativi e quantitativi determinati dalle opere di mitigazione e compensazione, fermo restando il carattere irreversibile della perdita fisica di suolo nelle superfici oggetto di nuova impermeabilizzazione.

Nel complesso, l'intervento produce quindi una perdita localizzata e irreversibile nelle superfici di nuova impermeabilizzazione, nelle quali vengono compromesse le principali funzioni pedologiche. Tale impatto non può essere integralmente annullato. Tuttavia, le opere di mitigazione previste sui 3.955 m² di superfici permeabili post operam permettono di mantenere e qualificare una componente ecologica significativa all'interno del lotto, mentre gli interventi di compensazione sui 18.848 m² del Fontanile Cagapes determinano un processo di miglioramento progressivo delle funzioni ecosistemiche a scala territoriale.

La valutazione integrata porta pertanto alla conclusione che, pur permanendo un impatto non reversibile associato al consumo di nuovo suolo permeabile, l'insieme delle misure previste è in grado di determinare un recupero sostanziale di numerosi servizi ecosistemici. In particolare, nel

medio-lungo periodo sono attesi benefici significativi per la biodiversità, lo stoccaggio del carbonio, la protezione del suolo, la regolazione idrologica e la qualità paesaggistica. Il sistema ambientale non ritorna alle condizioni ante operam e la perdita fisica del suolo impermeabilizzato rimane tale, ma evolve verso un nuovo assetto nel quale la maggiore qualità delle sistemazioni vegetazionali interne e il miglioramento delle formazioni del Fontanile Cagapes contribuiscono al riequilibrio complessivo dell'intervento e al rafforzamento della funzionalità ecologica del territorio.

8. RIFERIMENTO / BIBLIOGRAFIA

SNPA (2024). Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici. Edizione 2024.

ISPRA. Geoportale EcoAtlante.

ISPRA (2010). Trattamento dei suoli nei ripristini ambientali legati alle infrastrutture. Manuali e Linee Guida ISPRA 65.2/2010.

ISPRA (2016). Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici. Edizione 2016. Rapporti ISPRA 248/2016. ISBN 978-88-448-0776-4.

ISPRA (2018). Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici. Edizione 2018. Rapporti ISPRA 288/2018. ISBN 978-88-448-0902-7.

ISPRA. Progetto LIFE+ SAM4CP – Soil Administration Models 4 Community Profit (LIFE13 ENV/IT/001218). Consumo di suolo e servizi ecosistemici.

SNPA (2020). Valutazione di impatto ambientale. Norme tecniche per la redazione degli studi di impatto ambientale. Linee Guida SNPA n. 28/2020.

ERSAF – Regione Lombardia. Carta dei Suoli della Lombardia e Banca Dati Suoli LOSAN. Regione Lombardia – Geoportale. Cartografia pedologica regionale, Carta dei Suoli scala 1:50.000 e 1:250.000.

ERSAF – Regione Lombardia (2004). *Suoli e paesaggi della provincia di Milano*. Ente Regionale per i Servizi all'Agricoltura e alle Foreste, Regione Lombardia.

FAO & ITPS (2015). Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

IPCC (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4 – Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU)

Shannon, C.E. & Weaver, W. (1949). The Mathematical Theory of Communication.

Magurran, A.E. (2004). Measuring Biological Diversity. Blackwell Publ.

Jucker, T. et al. (2017). Allometric equations for integrating remote sensing imagery into forest monitoring programmes. Global Change Biology, 23(1), 177–190.

USDA-NRCS. National Engineering Handbook, Part 630 – Hydrology.